

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria e Scienze Informatiche

# Prototipo d'irrigazione prescrittiva

Tesi di laurea in:  
SUPERVISOR'S COURSE NAME

*Relatore*

**Prof. Supervisor Here**

*Candidato*

**Davide Speciali**

*Correlatori*

**Dott. CoSupervisor 1**

**Dott. CoSupervisor 2**

---

---

# Abstract

TODO

---

---

*Optional. Max a few lines.*

---

---

# Indice

<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>1 Agricoltura di precisione</b>	<b>3</b>
1.1 Introduzione generale all'agricoltura di precisione . . . . .	4
1.1.1 Agricoltura e cambiamento climatico . . . . .	4
1.1.2 Parametri di coltivazione . . . . .	5
1.1.3 Agricoltura di precisione . . . . .	7
1.2 Componenti chiave dell'agricoltura di precisione . . . . .	9
1.2.1 Acquisizione dati . . . . .	9
1.2.2 Simulazione del terreno . . . . .	11
1.2.3 Software in supporto alle decisioni . . . . .	11
1.3 Esempi di tecnologie e metodi avanzati nell'agricoltura di precisione	11
1.4 Limitazioni attuali dell'agricoltura di precisione . . . . .	12
<b>2 Tecnologie utilizzate</b>	<b>13</b>
2.1 Hardware . . . . .	13
2.2 Software . . . . .	14
<b>3 Un prototipo di irrigazione prescrittivo</b>	<b>19</b>
<b>4 Conclusioni e sviluppi futuri</b>	<b>21</b>
	<b>23</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>23</b>





---

# Introduzione

## Structure of the Thesis

**Davide Speziali:** At the end, describe the structure of the paper



---

# Capitolo 1

## Agricoltura di precisione

La risposta al cambiamento climatico è uno dei temi più importanti per il futuro delle popolazioni del pianeta. Nel 2015 le United Nations (UN) hanno adottato "l'agenda per lo sviluppo sostenibile 2030", con l'obiettivo di rispondere in maniera sistematica al problema del cambiamento climatico. Vengono specificate 16 Sustainable Development Goals (SDG): obiettivi specifici che ogni nazione deve raggiungere. Tra essi SDG 6 "Acqua pulita e sanificazione", si concentra sul garantire un accesso sicuro e sostenibile alle risorse idriche [1]. Il punto 6.4 in particolare punta a un miglioramento dell'efficienza dell'uso di acqua in tutti i settori [2, 3]. Il settore agricolo è il più importante per rendere possibile questa transizione: la quantità di acqua usata per l'agricoltura quasi raddoppiata dal 1970 e oggi l'agricoltura rimane l'area dove l'utilizzo di acqua è il maggiore, circa tre volte rispetto quello delle altre industrie. [4] È dunque aumentato l'interesse per lo sviluppo di tecnologie di monitoraggio dei terreni coltivati e lo sviluppo di modelli per l'irrigazione efficiente e automatica.

La sezione 1.1 introduce il concetto di agricoltura di precisione come strumento per l'ottimizzazione delle risorse, la sezione 1.2 elenca le sue principali componenti, la sezione 1.3 illustra alcuni esempi di tecnologie utilizzate, mentre la sezione 1.4 copre i limiti attuali di queste tecnologie.

## 1.1 Introduzione generale all'agricoltura di precisione

### 1.1.1 Agricoltura e cambiamento climatico

L'agricoltura è una delle attività più importanti per l'essere umano, ha subito negli anni enormi trasformazioni e l'era moderna non fa differenza [5]. Oggi è infatti interessata da continui progressi tecnologici e cambiamenti sociali, economici e ambientali. Anche grazie a innovazioni tecnologiche, la produzione è in stabile aumento, permettendo a tutte le popolazioni del mondo di accedere a una maggiore varietà di prodotti [6].

La ricerca di metodi più sostenibili per la gestione del settore agricolo è diventato un obiettivo primario per affrontare nuove sfide a livello mondiale [7]. In primis il costante aumento della popolazione, che si stima raggiungerà i 10 miliardi di persone verso gli anni 2080 [8], porterà un aumento della richiesta di prodotti agricoli e quindi la necessità di un aumento dell'offerta. Inoltre, diventa sempre più necessario agire in tema d'impatto che il settore ha sull'ambiente, come deforestazione, uso eccessivo di risorse idriche e fertilizzanti inquinanti [9]. Questi sono tutti elementi che hanno effetto sull'aumento delle temperature, che a loro volta aumentano la probabilità di eventi meteorologici estremi che possono rovinare o totalmente distruggere i raccolti: in Cina cambiamento climatico potrebbe far diminuire le rese di riso, grano e mais rispettivamente del 36,25%, 18,26% e 45,10% entro la fine di questo secolo [10]; in Italia sono studiati gli effetti di eventi di siccità sul territorio.

L'agricoltura, basandosi su conoscenze maturate nel corso di millenni, è particolarmente fragile al rapido cambiamento delle variabili climatiche: diventa quindi necessario riuscire a parametrizzare l'ambiente di coltivazione, capire quali parametri sono realmente importanti per le culture e studiare come possono essere monitorate, in modo che gli agricoltori abbiano gli strumenti per fronteggiare questa fragilità.

### 1.1.2 Parametri di coltivazione

Vengono definite proprietà idrauliche del suolo una serie di parametri che permettono di definire il rapporto tra suolo e acqua. Questi parametri possono essere tantissimi e dipendere dal contesto che si vuole analizzare. In generale, possiamo vedere il suolo come la riserva idrica della pianta, l'obiettivo dell'irrigazione deve essere, quindi, quello di somministrare la giusta quantità di acqua, evitando quindi di avere un terreno troppo bagnato o troppo asciutto.

La quantità di acqua presente all'interno del terreno viene rappresentata dal Soil Water Content (SWC), tipicamente misurato in percentuale di volume di acqua rispetto al volume del suolo. In FIGURA possiamo vedere una serie di valori "soglia" che SWC può raggiungere. Il termine *saturation* indica uno stato in cui all'interno del terreno non è più presente l'aria, e ogni poro è quindi pieno di acqua. Tipicamente, fatta eccezione per certi tipi di culture, come quella del riso, questo stato non è adatto alla crescita della pianta. Lo stato *oven dry*, al contrario, avviene in totale assenza di acqua, non è quindi adatto alla crescita di nessun tipo di pianta. Viene definito Field Capacity (FC) il valore di SWC massimo che permette alla pianta di assorbire l'acqua dal terreno. In questo stato i pori più grandi hanno al loro interno sia aria che acqua, mentre quelli più piccoli sono pieni di acqua. Infine, Permanent Wilting Point (PWP) è invece il punto dopo il quale la pianta non riesce più a estrarre acqua dal terreno, per quanto sia ancora in minima parte presente. Questi valori ci permettono di definire quale potrebbe essere l'irrigazione adatta, si vuole infatti che SWC sia compreso tra FC e PWP.

Un ulteriore parametro idraulico del suolo è Soil Water Potential (SWP), potenziale idrico del suolo, rappresenta l'energia necessaria per estrarre l'acqua dal suolo e indica quindi la disponibilità di acqua delle piante. Viene espresso in termini di pressione e comprende diverse componenti che contribuiscono al valore finale. Le principali sono:

- **Potenziale gravitazionale:** deriva dalla forza di gravità e rappresenta l'energia potenziale dovuta alla sua posizione verticale.
- **Potenziale matriciale:** rappresenta l'energia necessaria per estrarre l'acqua dal suolo, risultante dalle forze d'interazione tra l'acqua e le particelle

del suolo. È dovuto a forze come adesione e capillarità.

- **Potenziale osmotico:** rappresenta l'energia associata alla concentrazione di soluti e alla tendenza dell'acqua a muoversi da aree con alto potenziale osmotico (bassa concentrazione di soluti) ad aree con basso potenziale osmotico (alta concentrazione di soluti), come le radici delle piante.

La relazione tra SWP e SWC è definita dal concetto di Soil Water Retention Curve (SWRC), curva di ritenzione idrica del suolo: la quantità di acqua trattenuta nel suolo a diversi livelli di pressione.

Tutte questi parametri dipendono da una serie di fattori, come:

- **Proprietà fisiche del terreno**, caratteristiche come la tessitura (distribuzione delle dimensioni delle particelle del suolo) e la struttura (raggruppamento in composti porosi delle particelle del suolo) hanno peso nella definizione di SWP, e quindi chiaramente anche di SWRC. In FIGURA si possono vedere delle classificazioni comuni per i tipi di terreni in base alla tessitura, mentre in FIGURA in base alla struttura. In FIGURA sono presenti esempi di SWRC per diversi tipi di terreno.
- **Cultura**, ovviamente ogni tipo di pianta ha una propria FC e un proprio PWP. Inoltre l'apparato radicale di una pianta ha a sua volta effetto sul SWP e quindi, come definito precedentemente, sulla SWRC.

È inoltre importante notare che sia l'apparato radicale che le proprietà fisiche del suolo non sono costanti all'interno dello stesso campo. A causa della quantità di variabili che possono modificare sostanzialmente la SWRC, è molto difficile sapere di per certo la quantità d'irrigazione richiesta all'interno dell'intero campo senza monitorare attivamente l'andamento dell'acqua al suo interno.

Un ulteriore fattore da tenere in considerazione riguarda le variabili atmosferiche: di natura non modificabili, richiedono un monitoraggio continuo e preciso. Viene definita *evotraspirazione* il processo combinato attraverso il quale l'acqua viene trasferita nell'atmosfera, partendo da superfici d'acqua, dal ghiaccio, dal suolo e dalla vegetazione. Si tratta della combinazione tra *evaporazione* e *traspirazione*: la prima prevede il passaggio diretto dell'acqua nell'atmosfera e avviene per fattori come calore, umidità e velocità del vento; la seconda invece prevede

il passaggio attraverso una pianta partendo dalle radici, fino a raggiungere le foglie, da dove avviene il passaggio all'atmosfera. Le stazioni meteorologiche sono in grado di monitorare, in un dato momento, il potential evapotranspiration ( $ET_0$ ) che rappresenta il valore di evotraspirazione in un dato momento di un ipotetica cultura di prato erboso in condizioni ottimali dove l'unico fattore limitante è dato dal clima. È possibile moltiplicare il dato  $ET_0$  per un crop coefficient ( $K_c$ ) che dipende dal tipo e dallo stato di crescita di una determinata cultura, per ottenere actual evapotranspiration ( $ET_a$ ): reale evotraspirazione. Questo permette quindi di approssimare la quantità di acqua usata da una pianta e che quindi deve essere somministrata tramite irrigazione, a patto che sia presente in letteratura una stima adeguata di  $K_c$ , che non è però sempre disponibile. Inoltre,  $ET_0$  viene calcolato su un'aria potenzialmente molto estesa e potrebbe quindi non essere adeguato per zone con zone ombreggiate o venti locali. A ogni modo, il calcolo di  $ET_a$  non tiene in considerazione le condizioni fisiche del suolo e dell'apparato radicale delle piante, per questo motivo il suo utilizzo esclusivo per decisioni riguardo l'irrigazione non è adeguato.

### 1.1.3 Agricoltura di precisione

Vista la mole di variabili, diventa interessante utilizzare sistemi di monitoraggio e analisi col fine di consigliare gli agricoltori a come correttamente gestire i campi. Per questo nasce l'agricoltura di precisione (*precision agriculture*): consiste nell'uso di tecnologie avanzate per aumentare l'efficienza, la produzione e la qualità dei prodotti. Primi esempi di agricoltura di precisione, nel modo in cui viene intesa a oggi, risalgono già agli anni '80, dove lo sviluppo di modelli di crescita delle culture e l'utilizzo di Global Positioning System (GPS) ha permesso di mappare i campi e monitorare variabili spaziali come fertilità del suolo ed esigenze idriche. Negli anni '90, l'introduzione di sensori per il monitoraggio delle variabili ha permesso agli agricoltori di adattare le loro pratiche in base alle esigenze specifiche di ciascuna area del campo. Oggi l'arrivo di nuove tecnologie come Cloud Computing, Internet of Thing (IoT) e intelligenza artificiale ha portato un aumento sostanziale delle ricerche nel campo. Gli obbiettivi principali che si pone sono i seguenti:

- **Aumentare l'efficienza produttiva:** usando le risorse in modo più mirato si è in grado di ridurre gli sprechi.
- **Migliorare qualità e resa delle culture:** grazie al monitoraggio continuo è possibile rilevare rapidamente problemi (come malattie, carenze nutrizionali o idriche) potendo così intervenire tempestivamente.
- **Ridurre l'impatto ambientale:** ottimizzando l'utilizzo di risorse è possibile diminuire l'uso di acqua e di fertilizzanti, riducendo quindi l'impatto ambientale.
- **Supportare la sostenibilità economica:** l'input minore richiesto dagli agricoltori, insieme con l'uso inferiore delle risorse, ha anche un effetto positivo dal punto di vista economico. Oltre a rendere la cultura più resiliente a variazioni climatiche.

L'agricoltura di precisione si propone di agire in diverse aree dell'agricoltura, in base al contesto operativo, si può fare una divisioni nelle seguenti classi:

- **Site-Specific Land Management (SSLM):** un approccio all'agricoltura e alla gestione del territorio che adatta le decisioni e le pratiche alle caratteristiche uniche di specifiche aree all'interno di una fattoria o di un paesaggio. Invece di applicare tecniche uniformi su un intero campo o regione, la gestione sito-specifica utilizza informazioni dettagliate su suolo, clima, topografia e altri fattori ambientali per ottimizzare l'uso del terreno in ogni area. Si focalizza sull'ottimizzazione dell'uso del terreno [11].
- **Site-Specific Nutrient Management (SSNM):** si concentra sulla gestione mirata dei nutrienti necessari per le colture, come azoto, fosforo e potassio, adattandone l'applicazione alle condizioni specifiche di ogni parte del campo. L'obiettivo è migliorare l'efficienza d'uso dei fertilizzanti, riducendo gli sprechi e massimizzando la resa agricola, evitando allo stesso tempo danni ambientali legati all'eccesso di nutrienti [12].
- **Precision Irrigation:** un sistema che ottimizza l'irrigazione fornendo la giusta quantità d'acqua in base alle necessità specifiche di ogni area del campo. Utilizzando dati su umidità del suolo, clima e tipologia di coltura, l'irrigazione di precisione permette di ridurre il consumo idrico e migliorare



l'efficienza idrica, garantendo che le colture ricevano esattamente l'acqua necessaria per crescere in modo ottimale [13].

- **Site-Specific Weed Management (SSWM)**: un approccio che mira a gestire le infestanti in modo sito-specifico, applicando erbicidi o metodi di controllo solo nelle aree del campo dove le infestanti sono presenti o rappresentano una minaccia. Questo metodo riduce l'uso di prodotti chimici, minimizza l'impatto sull'ambiente e migliora l'efficacia delle pratiche di gestione delle infestanti [14].
- **Site Specific Crop Protection (SSCP)**: si riferisce alla gestione delle malattie delle colture in modo sito-specifico, basandosi su dati raccolti riguardo alla distribuzione e gravità delle malattie in diverse parti del campo. Attraverso il monitoraggio e la diagnosi precoce, consente di applicare trattamenti solo nelle aree affette, riducendo l'uso di pesticidi e migliorando la salute complessiva del raccolto [15].

## 1.2 Componenti chiave dell'agricoltura di precisione

Le tecnologie chiave dell'agricoltura di precisione sono tantissime, questa tesi non ha l'obiettivo di fornire una lista esaustiva e completa a riguardo, quanto più dare un'infarinata generale concentrandosi principalmente sulle tecnologie interessanti per l'irrigazione di precisione.

### 1.2.1 Acquisizione dati

La raccolta dei dati è il fulcro dell'agricoltura di precisione: permettono di avere un'immagine reale delle condizioni dei campi, sia nel suolo che a livello atmosferico.

#### Remote Sensing

Il Remote Sensing è il processo di rilevamento e monitoraggio delle caratteristiche fisiche di un'area misurando la radiazione riflessa ed emessa a distanza, tipicamente tramite satelliti o velivoli [16]. Il telerilevamento può contribuire in modo

significativo alla valutazione e al monitoraggio delle risorse del territorio su vaste aree. L'analisi di serie temporali d'immagini ottiche e radar ad alta risoluzione e liberamente disponibili viene utilizzata per catturare la variabilità degli eventi stagionali, la fenologia della vegetazione e le caratteristiche distinte del territorio. In ambito agricolo, il Remote Sensing è particolarmente utile per rilevare dati sulle coltivazioni, come lo stato di salute delle piante e l'umidità del suolo [17]. Integrando il GPS e il Geographical Information System (GIS), il Remote Sensing consente di localizzare con precisione le aree problematiche e sovrapporre questi dati a mappe che analizzano vari fattori (come suolo, clima e colture) per ottimizzare la gestione agricola. Il GPS, sistema di posizionamento globale, è un sistema di navigazione satellitare che fornisce informazioni sulla posizione, la velocità e l'orario in tempo reale in qualsiasi parte del mondo [18]. Il GIS, sistema d'informazioni geografico, un sistema informativo che consente la raccolta, l'organizzazione, l'analisi e la visualizzazione di dati geografici. Utilizzando un GIS, è possibile creare mappe dettagliate che incorporano dati geo spaziali su vari aspetti di un territorio, come l'uso del suolo, la topografia, la distribuzione di risorse e le infrastrutture. Consente di sovrapporre diversi strati di dati (ad esempio, dati suolo, clima e colture) e di analizzare le relazioni spaziali tra di essi attraverso mappe interattive. Il GIS può gestire grandi volumi di dati geografici, facilitando il monitoraggio e la pianificazione del territorio [19].

### **Sensori on-site**

ciao

### **Rilevazioni in laboratorio**

Le tecniche di misurazione in laboratorio possono essere utili per la raccolta di dati iniziali accurati e affidabili sulle caratteristiche del suolo. Tra le tecniche più comuni troviamo:

- **Determinazione della Densità Apparente del Suolo:** prevede il prelievo di campioni di suolo mediante una trivella cilindrica, seguita dalla pesatura del campione umido e dall'essiccazione a 105°C per calcolare la densità apparente[20].

- **Analisi della Granulometria:** consente di determinare la distribuzione delle dimensioni delle particelle del suolo, utilizzando metodi come la setacciatura e la sedimentazione. I risultati forniscono informazioni sulla capacità di ritenzione idrica e sull'aerazione del suolo[21].
- **Determinazione del pH del Suolo:** il pH è un parametro cruciale che influisce sulla disponibilità dei nutrienti. La misurazione può essere effettuata in laboratorio mediante l'uso di un pH-metro su un campione di suolo mescolato con acqua distillata[22].
- **Analisi della Materia Organica:** la quantità di materia organica nel suolo è essenziale per la fertilità. Le tecniche di analisi includono l'uso di metodi chimici, come la combustione, per determinare il contenuto di carbonio organico[23].
- **Test di Capacità di Ritenzione Idrica:** misura la quantità di acqua che un campione di suolo può trattenere dopo la saturazione. È fondamentale per comprendere la gestione dell'irrigazione e la sostenibilità delle colture[24].

In generale sono misurazioni che richiedono tempo, per questo motivo vengono effettuati saltuariamente.

### 1.2.2 Simulazione del terreno

### 1.2.3 Software in supporto alle decisioni

## 1.3 Esempi di tecnologie e metodi avanzati nell'agricoltura di precisione

Monitoraggio (!) - il nostro sistema prescrittivo è frutto di due anni di ricerca, ma già un sistema accurato di monitoraggio è un prodotto molto valido (e non così scontato) in industria agro Machine learning e intelligenza artificiale per la gestione dell'irrigazione Sistemi di irrigazione di precisione

## **1.4 Limitazioni attuali dell'agricoltura di precisione**

Costi e accessibilità per i piccoli agricoltori Sfide legate alla raccolta e gestione dei dati

---

# Capitolo 2

## Tecnologie utilizzate

### 2.1 Hardware

- **Sensori**, TODO numero sensore e citazione alle specifiche
- **Arduino UNO R3** è una scheda microcontrollore basata sull'ATmega328P. Permette di caricare i programmi scritti in linguaggio C++ usando un'architettura SuperLoop, dove un unico pezzo di codice viene ripetuto fin tanto che il dispositivo è riceve alimentazione. Il superloop è interrompibile momentaneamente solo tramite degli interrupt di sistema, che vengono gestiti con routine non interrompibili, ciò implica che durante una routine, non possono avvenire altri interrupt. È quindi consigliabile che le routine di gestione siano particolarmente brevi, sia per evitare perdita di eventi, sia perchè molte librerie di sistema sfruttano internamente gli interrupt, per esempio `delay` (equivalmente a `sleep` di python). Offre l'utilizzo di un totale di 22 pin General Purpose Input/Output (GPIO): 16 dei quali digitali, di cui 6 utilizzabili come output analogici tramite pulse-width modulation (PWM), e altri 6 pin input analogico. Può inoltre gestire una comunicazione seriale tramite USB con la quale è possibile comunicare con altri dispositivi.
- **Raspberry Pi 4 model B** è un Single Board Computer (SBC) in grado di utilizzare sistemi operativi veri e propri basati sul kernel Linux o su RISC OS. Presenta un processore quad-core ARM a 64bit ad una velocità di clock di 1.80GHz. La configurazione utilizzata presenta

**Davide Speziali: QUANTITARAM**

Gb di RAM LPDDR4-3200. Compatibile con Bluetooth 5.0, BLE, connessioni wireless IEEE 802.11ac a 2.4 GHz e 5.0 GHz, oltre che Gigabit Ethernet. Permette anche l'utilizzo di 40 pin GPIO digitali. Compatibile con periferiche USB tramite 2 porte USB2.0 e 2 porte USB3.0. L'uscita video è permessa da tramite 2 porte Micro-HDMI, che supportano dual-screen 4k. Come storage viene utilizzata una singola scheda microSD. Include un'interfaccia MIPI DSI per display e MIPI CSI per telecamere, ed è alimentato tramite un connettore USB-C da 5V/3A. Prodotto dalla Raspberry Pi Foundation, che ha realizzato diversi modelli per varie esigenze, è compatibile con vari sistemi operativi, tra cui il più noto è Raspberry Pi OS (precedentemente chiamato Raspbian), una versione di Debian sviluppata dalla stessa fondazione.

## 2.2 Software

- **JavaScript (JS)** è un linguaggio di programmazione interpretato, usato principalmente per la programmazione web sia a livello client che server, per esempio con l'utilizzo di Node.js. È un linguaggio dinamico, basato sui prototipi, multi-paradigma, single-threaded, che supporta stili di programmazione orientati agli oggetti, imperativi e dichiarativi. Standardizzato come ECMAScript, JS è alla base di un vasto ecosistema di librerie e framework che ne ampliano le capacità e l'applicabilità in diversi contesti.
  - **Chart.js** è una libreria JS semplice e flessibile per la generazione di grafici lato frontend. Si tratta di un progetto Open Source che sfrutta i canvas di HTML5. Di default permette l'utilizzo di 8 diversi tipi di grafici, è compatibile con plug-in che permettono l'aggiunta di nuove funzionalità.
    - \* **chartjs-chart-matrix** è un plug-in che permette la creazione di grafici a matrice, un esempio è in fig. 2.1
    - \* **chartjs-plugin-streaming** è un plug-in che permette la creazione di grafici con valori in tempo reale. Prevede lo scorrimento verso sinistra del grafico in base al tempo. È possibile configurarlo per

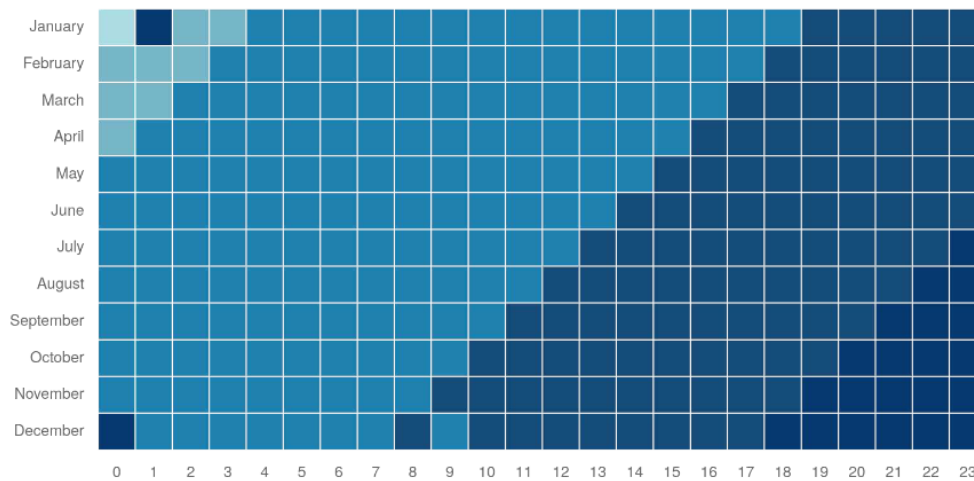


Figura 2.1: Esempio di una mappa delle temperature medie giornaliere per mese, l'intensità del colore è proporzionale alla temperatura.

modificare la granularità, la frequenza di aggiornamento ed un eventuale delay in modo da avere una visualizzazione "fluida" dei nuovi dati. Necessita di un adapter per una libreria per la gestione delle date e ricezione del tempo attuale, come Luxon.

- \* **chartjs-plugin-datalabels** è un plug-in per la visualizzazione dei dati su un grafico, un esempio su un grafico a linea è visibile in fig. 2.2
- \* **chartjs-adapter-luxon** è un plug-in che si occupa di fornire a chartjs-plugin-streaming le informazioni sulle date da Luxon.
- **Luxon** è un wrapper di date e tempi per JS. Utilizza un'API per gestire le date, che consente il supporto agli intervalli, alle durate (14 days, 5 minutes, 33 seconds), la loro conversione e parsing. Offre la localizzazione delle stringhe con una gestione interna delle time-zones.
- **bootstrap** è un toolkit frontend potente ed estendibile. Permette la creazione di interfacce web utilizzando unicamente classi HTML, senza la necessità di scrivere il proprio foglio di stile CSS.
- **jQuery** è una famosa libreria per la manipolazione e navigazione di documenti HTML, la gestione degli eventi, le animazioni e richieste HTTP.

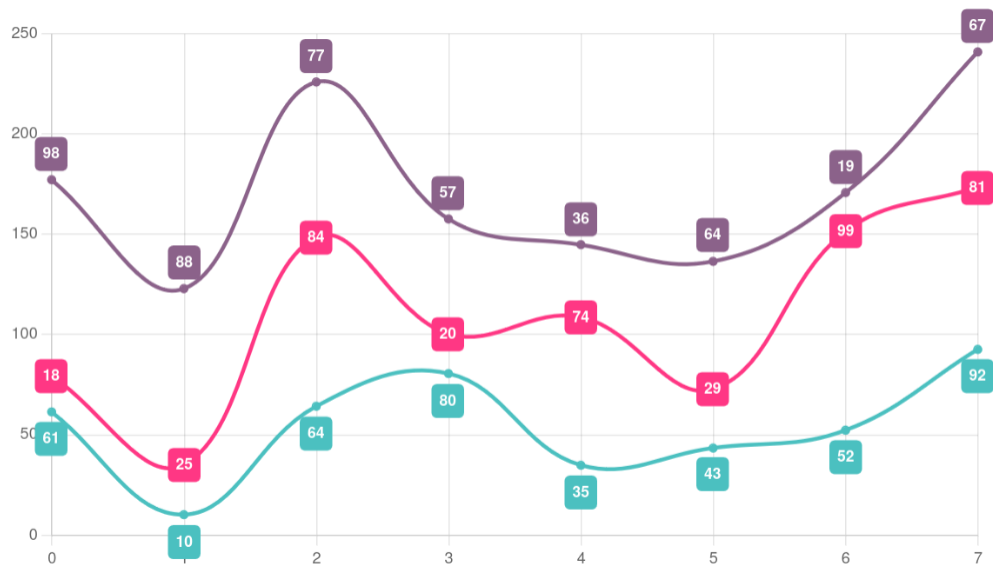


Figura 2.2: Esempio utilizzo di datalabels dove in ogni linea la posizione del label è differente.

- **Socket.io** permette l’apertura di una comunicazione bidirezionale sempre attiva tra client e server utilizzando WebSocket.
- **Python** è un linguaggio di programmazione ad alto livello che supporta il paradigma object-oriented, la programmazione strutturata e molte caratteristiche di programmazione funzionale. È un linguaggio debolmente tipizzato, che utilizza unicamente l’indentazione per la definizione dei blocchi di codice, al contrario di molti linguaggi, non prevede quindi l’utilizzo di parentesi graffe. Supporta l’overloading di operatori e funzioni tramite delegati, oltre che sintassi avanzate quali slicing (l’utilizzo di un certo range di elementi in una lista) e list comprehension (la creazione di nuove liste partendo da una originale). Il codice python viene interpretato (con delle compilazioni a bytecode alla prima esecuzione per migliorare le performance) che supporta anche un uso interattivo.
  - **Flask** è un framework web per la creazione di backend per Python.
  - **Flask-SocketIO** è una libreria Python per la gestione di websocket tramite Socket.io.



- **NumPy** è la libreria principale per il calcolo scientifico Python. Permette la gestione di array  $n$ -dimensionali ed è ampiamente utilizzato per operazioni di algebra lineare, trasformate di Fourier, manipolazioni di dati e altre applicazioni numeriche. È uno strumento essenziale per chi lavora con analisi numeriche, machine learning e data science.
  - **pySerial** è una libreria per l'accesso a porte seriali. Permette la stessa gestione delle porte seriali su ogni piattaforma. Supporta diversi byte size, bit di parità e di fine messaggio, oltre che controllo del flusso. La porta è configurata per la trasmissione binaria.
  - **dotenv** è un modulo per la gestione delle variabili d'ambiente.
  - **pytz** è una libreria per il calcolo del fuso orario in python.
  - **SciPy** è una libreria di Python per il calcolo scientifico e tecnico, espande NumPy. Offre un'ampia quantità di funzionalità per l'ottimizzazione, la statistica, l'integrazione, l'algebra lineare, l'elaborazione dei segnali, la gestione di immagini e altre operazioni matematiche avanzate. È molto utilizzata per esempio nei campi della fisica, dell'ingegneria, della biologia computazionale.
- **C++** è un linguaggio di programmazione nato come espansione del linguaggio C, presenta caratteristiche di programmazione funzionale, generica e orientata agli oggetti, permettendo però una gestione a basso livello della memoria. Per quest'ultima caratteristica è tipicamente utilizzato in contesti dove le prestazioni sono particolarmente importanti come lo sviluppo di sistemi operativi, software embedded, motori di gioco e applicazioni real-time. In particolar modo è utilizzato anche per lo sviluppo di software per dispositivi con risorse limitate, come microcontrollori e sistemi embedded, dove la gestione diretta della memoria e delle risorse hardware è essenziale.
- **Arduino API** è una libreria in C/C++ per la scrittura di codice per dispositivi Arduino. Contiene funzioni riguardanti l'hardware, per esempio, contiene funzioni per la lettura/scrittura di segnali digitali e analogici sui pin, per la gestione degli interrupt e della porta seriale. Oltre alle funzioni hardware, l'API include, ad esempio, strumenti per la gestione dei timer, funzioni matematiche, funzioni per la gestione di bit e

byte e per la gestione degli stream. Contiene inoltre i tipi di variabile ‘enum’, ‘String’ e funzioni per la conversione.

- **TimerInterrupt** è una libreria che permette l'utilizzo del timer fisico di una board Arduino come interrupt di sistema, permettendo lo svolgimento ininterrotto di routine periodicamente.
- **ArduinoJson** è una semplice libreria per la gestione di stringhe JSON su piattaforma Arduino. Permette serializzazione e deserializzazione, ed è quindi molto utile per mandare dati strutturati sul seriale in modo che venga che lo scambio dei dati sia standardizzato.

---

## Capitolo 3

# Un prototipo di irrigazione prescrittivo

Descrive nel dettaglio il tuo lavoro, quindi come le tecnologie presentate nella precedente sezione sono state utilizzate nel progetto. Puoi prenderla larga descrivendo il nostro sistema (quello che ti ho mostrato sul mio pc) per poi descrivere la necessità di averne una rappresentazione su piccola scala e come è stata realizzata, così come descrivere il ciclo di vita del dato (collection, processing, exploitation). Ora come ora è normale tu non abbia chiare le idee su questo capitolo, andando avanti integreremo le tue conoscenze con quelle pregresse nostre sul dominio applicativo e sul nostro sistema. Questo capitolo deve essere il core della tesi, lunghezza 20 pagine.

---

---

## Capitolo 4

# Conclusioni e sviluppi futuri

Breve capitolo che trae le conclusioni sul lavoro svolto, il risultato ottenuto rispetto a quello atteso e lo spazio dedicato a migliorie future.

---

---

# Bibliografia

- [1] UN. Goal 6: Ensure access to water and sanitation for all. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/>, 2015. [Accessed 22-08-2024].
- [2] UN-Water. Indicator 6.4.1 “change in water use efficiency over time”. <https://www.unwater.org/our-work/integrated-monitoring-initiative-sdg-6/indicator-641-change-water-use-efficiency-over-time>, 2021. [Accessed 22-08-2024].
- [3] UN-Water. UN-Water analytical brief - Water-use efficiency, 2021. UN-Water publication.
- [4] FAO. Aquastat dissemination system. <https://data.apps.fao.org/aquastat/>, 2020. [Accessed 22-08-2024].
- [5] Giovanni Federico. *Feeding the World: An Economic History of Agriculture, 1800-2000*. Princeton University Press, Princeton, UNITED STATES, 2005.
- [6] *Agricultural production statistics 2000–2022*. December 2023.
- [7] FAO. 2.4.1 Agricultural sustainability — SDG Indicators Data Portal — Food and Agriculture Organization of the United Nations — fao.org. <https://www.fao.org/sustainable-development-goals-data-portal/data/indicators/Indicator2.4.1-proportion-of-agricultural-area-under-productive-and-sustainable-a> [Accessed 23-09-2024].

- [8] United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World population prospects 2024: Summary of results. Technical Report UN DESA/POP/2024/TR/NO. 9, United Nations, 2024.
- [9] *Environmental impacts of modern agriculture*. Issues in environmental science and technology, 34. RSC Pub., Cambridge [England], 1st ed.. edition, 2012.
- [10] Peng Zhang, Junjie Zhang, and Minpeng Chen. Economic impacts of climate change on agriculture: The importance of additional climatic variables other than temperature and precipitation. *Journal of environmental economics and management*, 83:8–31, 2017.
- [11] Joint Research Centre, Institute for Environment, Sustainability, L Montanarella, F Carre, K Adhikari, and G Toth. *Site specific land management – General concepts and applications*. Publications Office, 2009.
- [12] Praveen Verma, Akriti Chauhan, and Tanzin Ladon. Site specific nutrient management: A review. *Research Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10 2020.
- [13] Muhammad Naveed Anjum, Muhammad Jehanzeb Masud Cheema, Fiaz Husain, and Ray-Shyan Wu. Chapter 6 - precision irrigation: challenges and opportunities. In Qamar Zaman, editor, *Precision Agriculture*, pages 85–101. Academic Press, 2023.
- [14] Roland Gerhards, Dionisio Andújar Sanchez, Pavel Hamouz, Gerassimos G. Peteinatos, Svend Christensen, and Cesar Fernandez-Quintanilla. Advances in site-specific weed management in agriculture—a review. *Weed Research*, 62(2):123–133, 2022.
- [15] Prashant Jambhulkar and Naresh Meshram. *Site Specific Crop Protection*, page 41. 09 2013.
- [16] What is remote sensing and what is it used for? — U.S. Geological Survey — [usgs.gov. https://www.usgs.gov/faqs/what-remote-sensing-and-what-it-used](https://www.usgs.gov/faqs/what-remote-sensing-and-what-it-used). [Accessed 01-10-2024].



- [17] Crop and Agricultural monitoring — fao.org. <https://www.fao.org/geospatial/our-work/what-we-do/crop-and-agricultural-monitoring/en/>. [Accessed 01-10-2024].
- [18] GPS.gov: GPS Overview — gps.gov. <https://www.gps.gov/systems/gps/>. [Accessed 26-09-2024].
- [19] Cos'è il GIS? — Tecnologia di mappatura del sistema informativo geografico — esri.com. <https://www.esri.com/it-it/what-is-gis/overview>. [Accessed 26-09-2024].
- [20] G. R. Blake and K. H. Hartge. *Bulk Density*, chapter 13, pages 363–375. John Wiley & Sons Ltd, 1986.
- [21] G. W. Gee and J. W. Bauder. *Particle-size Analysis*, chapter 15, pages 383–411. John Wiley & Sons, Ltd, 1986.
- [22] G. W. Thomas. *Soil pH and Soil Acidity*, chapter 16, pages 475–490. John Wiley & Sons, Ltd, 1996.
- [23] D. W. Nelson and L. E. Sommers. *Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter*, chapter 34, pages 961–1010. John Wiley & Sons, Ltd, 1996.
- [24] A. Klute. *Water Retention: Laboratory Methods*, chapter 26, pages 635–662. John Wiley & Sons, Ltd, 1986.



---

# Ringraziamenti

Optional. Max 1 page.