



GreenUp

An autonomous system for greenhouses management

Amadio Marco, **257114**
Cortellessa Stefano, **254260**
Perna Andrea, **255672**

Software Engineering for Autonomous Systems
A.A. 2018-2019

Indice

1.	Introduzione	3
2.	Obiettivi	5
2.1	Temperatura	6
2.2	Umidità	6
2.3	Umidità del Terreno	6
2.4	Intensità luminosa.....	6
2.5	Vento	6
3.	Tecnologie Utilizzate	8
4.	Funzionalità del Sistema.....	8
4.1	Funzionalità Reattive.....	8
4.2	Funzionalità Predittive	9
4.3	Modalità di Sistema.....	10
5.	Vista Statica del Sistema	11
5.1	Component Diagram	11
5.2	Database Schema	12
6.	Vista Dinamica	13
6.1	Sequence Diagram	13
6.1.1	Esecuzione del Sistema.....	13
6.1.2	Update da parte di un utente	14
7.	Interfaccia Grafica	15
8.	Risultati	16
9.	Conclusioni	19

Repository GitHub: <https://github.com/stefanocortellessa/Autonomous-System>

1. Introduzione

L'applicazione sviluppata rappresenta un sistema di gestione autonoma di una o più serre, pensata e implementata in modo tale da poter essere utilizzata in opportune strutture adibite a tale scopo.

Un **sistema autonomo** per definizione combina sensori e sistemi di controllo in modo tale da abilitare sequenze complesse di operazioni che possono essere eseguite su differenti tipi di sistemi. L'esigenza di sviluppare sistemi di questo tipo nasce dalla necessità di riuscire a gestire sistemi sempre più complessi ed in continua evoluzione.

Il comportamento autonomo inizia con la creazione di un piano, modellato in modo da raggiungere uno o più obiettivi soggetti ad un determinato insieme di vincoli e risorse. In generale, consiste nel controllo automatico e nella definizione di una sequenza di operazioni che, se necessario, può essere modificata.

Il vantaggio di questo tipo di applicazioni sta principalmente nella possibilità di operare in ambienti ostili senza l'ausilio dell'uomo o che richiedano un controllo costante nel tempo.

Esistono vari livelli di automazione di un sistema e sono descritti nella seguente tabella:

Controllato dall'uomo	Tutte le attività all'interno del sistema sono il risultato diretto di input di controllo avviati dall'uomo.
Assistito dall'uomo	Il sistema può svolgere attività in parallelo con l'input umano, agendo in modo da aumentare l'efficienza dell'attività indicata. Il sistema tuttavia non ha la capacità di agire in maniera del tutto autonoma.
Delegato dall'uomo	Il sistema può eseguire attività di controllo limitate delegate dall'uomo.
Supervisionato dall'uomo	Il sistema può eseguire un'ampia varietà di attività attraverso permessi di alto livello forniti da un essere umano. Il sistema ha un'autonomia sufficiente sulle operazioni interne e dei suoi comportamenti che possono essere compresi da un supervisore umano e opportunamente modificati.
Iniziative Ibride	Sia l'uomo che il sistema possono avviare comportamenti basati sui dati rilevati. Il sistema può coordinare il proprio comportamento unitamente a quelli umani, sia esplicitamente che implicitamente.
Completamente Autonomo	Il sistema non richiede alcun intervento umano per eseguire le proprie attività in ciascun contesto previsto.

Nonostante i numerosi vantaggi e benefici di tali sistemi, esistono varie 'incertezze' durante il loro sviluppo che fino ad oggi non hanno permesso la loro diffusione su larga scala. Ad esempio, il pericolo legato al loro possibile fallimento. Basti pensare a sistemi automobilistici autonomi che, a

causa di scelte errate o mal implementate, potrebbero portare sia al danneggiamento dell'elemento gestito dal sistema che alla perdita di vite umane.

In generale, un qualsiasi sistema è definito autonomo se rispetta il **MAPE-K Loop**, il quale descrive il flusso di dati tra le varie componenti dello stesso.

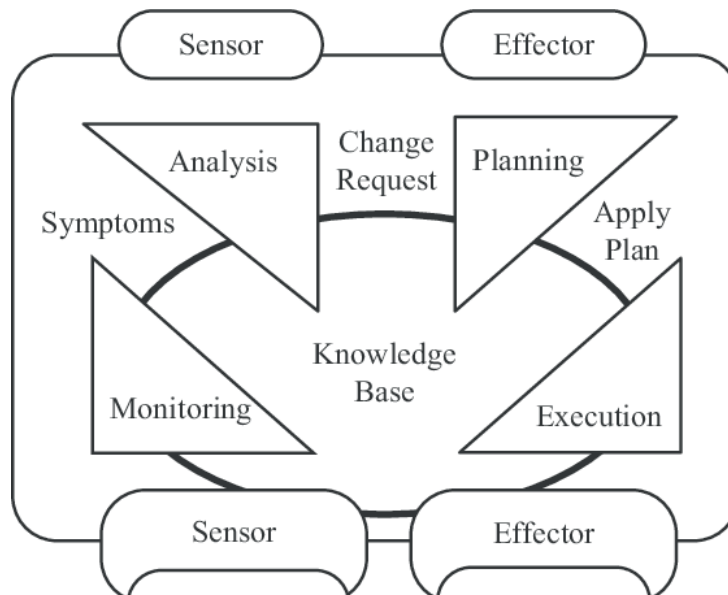


Figura 1: Rappresentazione grafica del MAPE-K Loop

- **Monitoring:** Componente che si occupa di catturare le proprietà dell'ambiente, fisiche o virtuali, che sono importanti ai fini dell'automazione del sistema (es. Raccoglie i dati dalla risorsa gestita, fornisce meccanismi per aggregare e filtrare il flusso di dati in entrata, memorizza dati rilevanti e critici nella base di conoscenze per riferimento futuro).
- **Analysis:** Componente che confronta i dati sugli eventi con i modelli della base di conoscenza per diagnosticare i sintomi e memorizzarli, ma prevalentemente correla i dati in entrata con i dati storici, analizza i sintomi e prevede i problemi.
- **Planning:** Componente che tiene conto dei dati monitorati dai sensori per produrre una serie di modifiche da effettuare sull'elemento gestito. Interpreta i sintomi per elaborare un piano, decide su un piano d'azione, costruisce azioni e attua le politiche.
- **Execution:** Componente che esegue la modifica del processo gestito tramite gli attuatori ed esegue il piano.
- **Knowledge:** I quattro componenti di un ciclo MAPE-K lavorano insieme attraverso lo scambio di conoscenze che viene rappresentato da questa componente.

Il sistema implementato è stato sviluppato in modo tale da rispettare tutti gli aspetti fino ad ora descritti ed applicato in un contesto specifico, ovvero quello della coltivazione in serra. Il primo requisito necessario è quindi quello di possedere dei sensori e degli attuatori, rispettivamente in grado di raccogliere i dati all'interno e all'esterno dell'ambiente di riferimento e poter effettuare cambiamenti attraverso l'attivazione o la disattivazione di componenti fisiche.

Non essendo in possesso di componenti reali adeguate a ciò, *è stato implementato un simulatore* in grado di riprodurre una situazione reale che si verrebbe a formare all'interno di una serra.

In particolare, è stato simulato l'andamento dei seguenti fattori: *temperatura esterna* (condizionata dalle diverse situazioni meteorologiche) *ed interna* (condizionata in parte dalla situazione esterna, e dall'isolamento dell'ambiente interno), *umidità esterna ed interna*, *intensità luminosa*, *vento* e *umidità del terreno*. Inoltre, è stato simulato il comportamento successivo all'attivazione dei vari attuatori che andranno a modificare la situazione ambientale all'interno della serra, in relazione agli obiettivi da raggiungere. In particolare, sono stati simulati: *una rete ombreggiante* (in grado di attenuare l'intensità luminosa), *degli sportelli di areazione o finestre*, *dei condizionatori* (in grado di aumentare e diminuire la temperatura in base al livello di potenza impostato) *e dei deumidificatori* (in grado di aumentare e diminuire la percentuale di umidità in base al livello di potenza impostato). I vantaggi di costruire tale sistema stanno nella possibilità di automatizzare il comportamento dell'uomo, in modo da evitare errori derivanti da distrazioni o negligenza.

Nel capitolo 2 sono descritti gli obiettivi che si vogliono raggiungere con l'utilizzo di questa applicazione, focalizzandosi su quelli che sono i requisiti principali. Nel capitolo 3 e 4 invece sono descritte rispettivamente le tecnologie utilizzate e le funzionalità implementate. Nel capitolo 5 e 6 sono stati descritti una vista statica e una dinamica del software. Nel capitolo 7 è descritta l'interfaccia grafica implementata ed infine, nel capitolo 8 sono descritti i risultati ottenuti dal sistema in esecuzione.

2. Obiettivi

In questo contesto, per garantire una situazione ambientale ottimale, o comunque che non sia dannosa per le piante, sono di vitale importanza una molteplicità di fattori descritti di seguito. Se questi non venissero rispettati, si potrebbe incorrere in problemi legati alla crescita delle coltivazioni e nei casi più estremi, alla morte delle piante stesse.

In ogni serra viene impostato un valore ottimale per ogni fattore, assumendo che in ognuna di esse sia presente solamente un determinato tipo di coltivazione. Una volta definiti tali valori, sono stati quindi settati dei range all'interno dei quali la coltivazione si trova in una situazione **ottimale**, **predittiva**, **reattiva** o di **pericolo**.

Di seguito è riportato un grafico esplicativo di tali range.

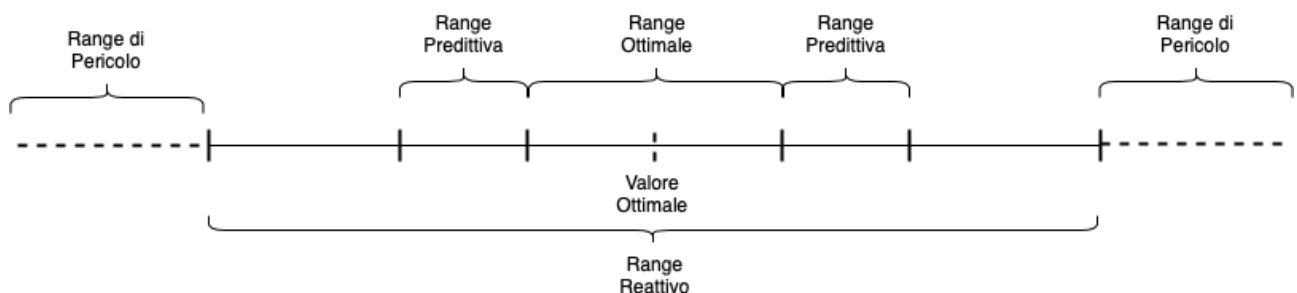


Figura 2: Range di Sistema

2.1 Temperatura

La temperatura rappresenta il fattore più importante in una serra. Se questa dovesse crescere o diminuire in maniera troppo elevata, si andrebbe incontro a molteplici problematiche che potrebbero sfociare nella morte delle piante, perciò è un elemento da tenere in costante monitoraggio. Se questa dovesse scendere o salire al di sotto o al di sopra delle soglie di pericolo descritte precedentemente, è opportuno mettere in atto diversi tipi di operazioni, relazionate al problema in questione e descritte nei paragrafi 4.1 e 4.2.

In particolare, tre diversi tipi di attuatori vanno ad influenzare tale grandezza: gli sportelli di areazione, i condizionatori e la rete ombreggiante. Se gli sportelli sono aperti, la temperatura interna tende ad adeguarsi alla temperatura esterna; se i condizionatori sono attivi, la temperatura tende ad aumentare o diminuire in base alla potenza impostata; se la rete è attivata, il calore generato dall'intensità luminosa viene attenuato.

2.2 Umidità

L'umidità rappresenta un altro fattore fondamentale all'interno di una serra, di conseguenza anch'essa dev'essere costantemente monitorata.

Essa viene influenzata dagli sportelli di areazione e dal deumidificatore. Nel caso in cui gli sportelli fossero aperti, anche in questo caso, l'umidità interna tenderà ad adeguarsi a quella esterna; al contrario con gli sportelli chiusi l'umidità interna non verrà alterata. Attraverso l'utilizzo del deumidificatore inoltre, l'umidità interna della serra viene aumentata/diminuita più efficacemente.

2.3 Umidità del Terreno

L'umidità del terreno rappresenta un fattore altresì importante in quanto, se troppo basso, porterebbe alla morte delle coltivazioni. Pertanto, anch'esso va costantemente monitorato in modo tale da permettere l'attivazione degli attuatori di irrigazione nel momento in cui l'umidità raggiunge valori critici.

2.4 Intensità luminosa

L'intensità luminosa rappresenta un fattore da tenere in considerazione in quanto, se troppo elevata, danneggerebbe la coltivazione all'interno della serra. A tale scopo vengono utilizzate le reti ombreggianti che consentono di attenuare la luce diretta assorbita dalle piante.

2.5 Vento

Il vento è un fattore che non influenza direttamente lo stato delle coltivazioni, ma che va comunque tenuto in considerazione in quanto, se presente, può essere sfruttato in modo da regolare la temperatura o l'umidità interna della serra.

Di seguito sono descritti tutti i *tipi di sensori* presenti nel sistema unitamente alle loro funzionalità.

Tipo	Descrizione
Temperatura Interna	Sensore di rilevazione della temperatura interna alla serra. Espresso in gradi centigradi.
Temperatura Esterna	Sensore di rilevazione della temperatura esterna alla serra. Espresso in gradi centigradi.
Umidità Interna	Sensore di rilevazione dell'umidità interna alla serra. Espresso in percentuale.
Umidità Esterna	Sensore di rilevazione dell'umidità esterna alla serra. Espresso in percentuale.
Umidità del Terreno	Sensore di rilevazione dell'umidità del terreno. Espresso in percentuale.
Intensità Luminosa	Sensore di rilevazione dell'intensità luminosa. Espresso con un valore da 0 a 3.
Vento	Sensore di rilevazione del vento. Espresso con un valore da 0 a 3.
Pioggia	Sensore di rilevazione della pioggia.

Tabella 1: Descrizione Sensori

Di seguito sono descritti tutti i tipi di attuatori che sono presenti nel sistema unitamente alle loro funzionalità.

Tipo	Descrizione
Condizionatore	Sistema fisico (simulato) in grado di aumentare/diminuire la temperatura interna della serra. Può assumere livelli di potenza che vanno da -3 a +3. (se il valore è negativo raffredda, se è positivo riscalda, se è pari a 0 l'attuatore è spento)
Deumidificatore	Sistema fisico (simulato) in grado di aumentare/diminuire l'umidità interna della serra. Può assumere livelli di potenza che vanno da -3 a +3. (se il valore è negativo l'umidità diminuisce, se è positivo aumenta, se è pari a 0 l'attuatore è spento)
Irrigatore	Sistema fisico (simulato) in grado di aumentare l'umidità del terreno.
Sportelli di aerazione	Sistema fisico (simulato) che se attivo consente il ricircolo dell'aria, permettendo inoltre di modificare la temperatura e l'umidità interne alla serra esponendola alle condizioni climatiche esterne.
Reti Ombreggianti	Sistema fisico (simulato) in grado di attenuare l'intensità luminosa percepita all'interno della serra.

Tabella 2: Descrizione Attuatori

3. Tecnologie Utilizzate

Il software è stato completamente implementato attraverso il linguaggio di programmazione **Java** e l'utilizzo delle seguenti tecnologie:

- **OpenHAB2**: Piattaforma open-source di domotica.
- **Mosquitto**: Message broker che implementa il protocollo MQTT.
- **Eclipse Paho**: Modulo Eclipse che fornisce un'implementazione client ed open-source di protocolli di messaggistica MQTT.
- **MySQL**: DBMS open-source per la gestione dei dati.

In particolare, il primo è stato utilizzato principalmente come interfaccia grafica e come strumento di interazione con il sistema. I protocolli di messaggistica MQTT sono stati utilizzati per lo scambio di informazioni tra le serre, il sistema ed OpenHAB.

4. Funzionalità del Sistema

Durante lo sviluppo di GreenUp sono state implementate varie funzionalità. Queste possono essere separate logicamente in due categorie, quelle **reattive** e quelle **predittive**.

Le prime raggruppano tutte quelle operazioni che permettono al sistema di reagire a situazioni non ottimali che si possono creare all'interno della serra durante la giornata. Le seconde, invece, raggruppano tutte quelle funzionalità che vengono predette in base ai dati raccolti e calcoli effettuati precedentemente.

4.1 Funzionalità Reattive

Le funzionalità reattive vengono eseguite a prescindere dal piano attivo in quanto rappresentano operazioni necessarie al mantenimento di un contesto favorevole alle piante.

- **Chiusura Sportelli di Aerazione**: Se il vento presente all'esterno della serra rappresenta una minaccia per il benessere delle piante, gli sportelli di aerazione vengono chiusi.
- **Attivazione Reti Ombreggianti**: Se l'intensità luminosa rappresenta una minaccia per il benessere delle piante, vengono attivate le reti ombreggianti in modo tale da attenuare la luce percepita all'interno della serra.
- **Attivazione Irrigatori**: Se l'umidità del terreno scende al di sotto di una determinata soglia vengono attivati gli irrigatori fino al raggiungimento di uno stato ottimale.
- **Attivazione Sportelli di Aerazione e Reti Ombreggianti in base alla Temperatura**: Per regolare il processo riscaldamento/raffreddamento della struttura vengono aperti/chiusi gli sportelli di aerazione e attivate /disattivate le reti ombreggianti con le seguenti modalità.

Se la temperatura interna supera la soglia ottimale (figura 2):

- se la temperatura esterna è maggiore di quella interna e gli sportelli sono aperti, vengono chiusi.

- se la temperatura esterna è minore o uguale di quella interna, gli sportelli sono chiusi ed il vento non è critico, vengono aperti.
- se la luce esterna è presente e le reti ombreggianti sono disattivate, vengono attivate.

Se la temperatura interna è al di sotto della soglia ottimale:

- se la temperatura esterna è minore o uguale di quella interna, gli sportelli vengono chiusi.
- se la temperatura esterna è maggiore di quella interna ed il vento non soffia alla potenza massima, gli sportelli vengono aperti.
- se la luce esterna è presente, non è critica e le reti sono attive, vengono disattivate.

- **Attivazione Sportelli di Aerazione in base all'Umidità:** Per regolare il processo di aumento/diminuzione dell'umidità all'interno della struttura, vengono aperti/chiusi gli sportelli di aerazione.

In particolare, se l'umidità interna supera la soglia ottimale:

- se l'umidità esterna è maggiore di quella interna e gli sportelli sono aperti, vengono chiusi.
- se l'umidità esterna è minore o uguale di quella interna, gli sportelli sono chiusi ed il vento non è critico, vengono aperti.

Se l'umidità interna si trova al di sotto della soglia ottimale:

- se l'umidità esterna è minore o uguale di quella interna e gli sportelli sono aperti, vengono chiusi.
- se l'umidità esterna è maggiore di quella interna, gli sportelli sono chiusi ed il vento non è critico, vengono aperti.

4.2 Funzionalità Predittive

Queste funzionalità vengono applicate alla temperatura e all'umidità interna, in quanto, non avendo a disposizione una piattaforma di previsione meteorologica, non è possibile anticipare l'andamento degli agenti atmosferici esterni alla serra.

Esse vengono effettuate solamente nel momento in cui il sistema si trova nel range predittivo (vedi figura 2). Questa scelta è stata presa in modo da far sì che all'interno della serra venga mantenuto nel modo più efficiente possibile un ambiente ottimale, andando a prevenire situazioni climatiche potenzialmente critiche.

Durante la fase reattiva andiamo ad attuare un piano solamente nel caso in cui viene superata una determinata soglia, ciò significa che, anche se per un periodo di tempo relativamente basso, le piante si troveranno in un ambiente a loro ostile.

Durante la fase predittiva invece, viene evitato che le piante superino la soglia critica stabilita cercando di prevedere quella che sarà la situazione futura della serra e di mantenere tutte le piante vicine al range ottimale per il maggior tempo possibile.

Nello specifico l'applicazione fa uso della Knowledge di sistema per controllare lo **storico** dei piani effettuati nell'ultimo mese; in particolare viene considerata *la fascia oraria che comprende le 3 ore successive all'ora corrente*.

Se in tale fascia, per i 2/3 dei 30 giorni considerati, i dati mostrano che l'andamento medio attuale della temperatura o dell'umidità esterna porterà la serra verso una situazione critica, il sistema,

autonomamente attuerà un piano opportuno in modo da evitare un'eccessiva deviazione dallo stato ottimale. Se al contrario i dati mostrano che l'andamento medio porterà un miglioramento della situazione attuale, il sistema attenderà l'iterazione successiva senza prendere decisioni. Supponendo che la temperatura interna di una determinata serra si trovi in un range predittivo sopra l'intervallo ottimo e che negli ultimi 30 giorni in quella fascia oraria si è osservato che la temperatura ha mantenuto un andamento medio crescente, il sistema autonomamente attuerà un piano di accensione dei condizionatori per raffreddare la serra in base alla modalità energetica attuale. Sostanzialmente il sistema cerca di prevedere ed evitare una potenziale situazione di pericolo futura.

4.3 Modalità di Sistema

Queste modalità consistono nelle impostazioni energetiche che abbiamo a disposizione; di norma sono settate dall'utente attraverso l'interfaccia grafica ma possono essere impostate autonomamente anche dal sistema. Di seguito sono descritte tutte le modalità applicabili e le loro caratteristiche.

- **ECO:**

Consiste nel piano di *risparmio energetico*, nonché nella modalità di default dell'applicazione. Con la modalità ECO attiva andiamo a limitare la potenza degli attuatori quali Condizionatori e Deumidificatori in un range compreso tra -1 e 1. Valgono inoltre tutte le funzionalità reattive descritte in precedenza.

- **NORMAL:**

Con la modalità Normal attiva limitiamo la potenza degli attuatori Condizionatori e Deumidificatori in un range compreso tra -2 e 2. Questa modalità, in un ambiente reale, è mediamente più onerosa rispetto a quella ECO in termini di consumi, ma allo stesso tempo riesce a riportare il sistema in un intervallo ottimo in maniera più rapida ed efficiente. Anche in questa modalità sono comprese tutte le funzionalità reattive descritte in precedenza.

- **OPTIMAL:**

Tale modalità è quella massima impostabile nel sistema dal punto di vista energetico e potenzialmente la più costosa privilegiando la rapidità di esecuzione rispetto ai consumi. Il sistema in questa modalità, oltre alle funzionalità reattive può sfruttare al massimo la potenza degli attuatori Condizionatori e Deumidificatori, in particolare può settarli a potenze quali -3, -2, 2 e 3.

- **DANGER:**

La modalità Danger viene settata autonomamente dal sistema stesso se viene riscontrata una situazione critica. In particolare, se all'interno di una serra alcuni fattori hanno superato il range di pericolo, il sistema imposterà immediatamente questa modalità e attuerà il corrispondente piano per ripristinare una situazione ottimale. A differenza delle altre modalità, in questo caso non vengono considerate le funzionalità reattive in quanto la serra attua una sorta di isolamento; tutti gli sportelli infatti vengono chiusi e le reti ombreggianti sono attivate in modo da isolare il più possibile la serra da eventi esterni. La potenza degli attuatori quali Deumidificatori e Condizionatori

inoltre potranno assumere solamente valori -3 e 3, in modo da raggiungere il più presto possibili condizioni interne ideali. Non appena verrà raggiunto lo stato ottimale l'applicazione reimposterà autonomamente la modalità di default (ECO).

5. Vista Statica del Sistema

Di seguito viene riportata una vista statica del sistema attraverso l'utilizzo del Component Diagram, relativo alla struttura software e di uno schema E-R del database rappresentante la Knowledge.

5.1 Component Diagram

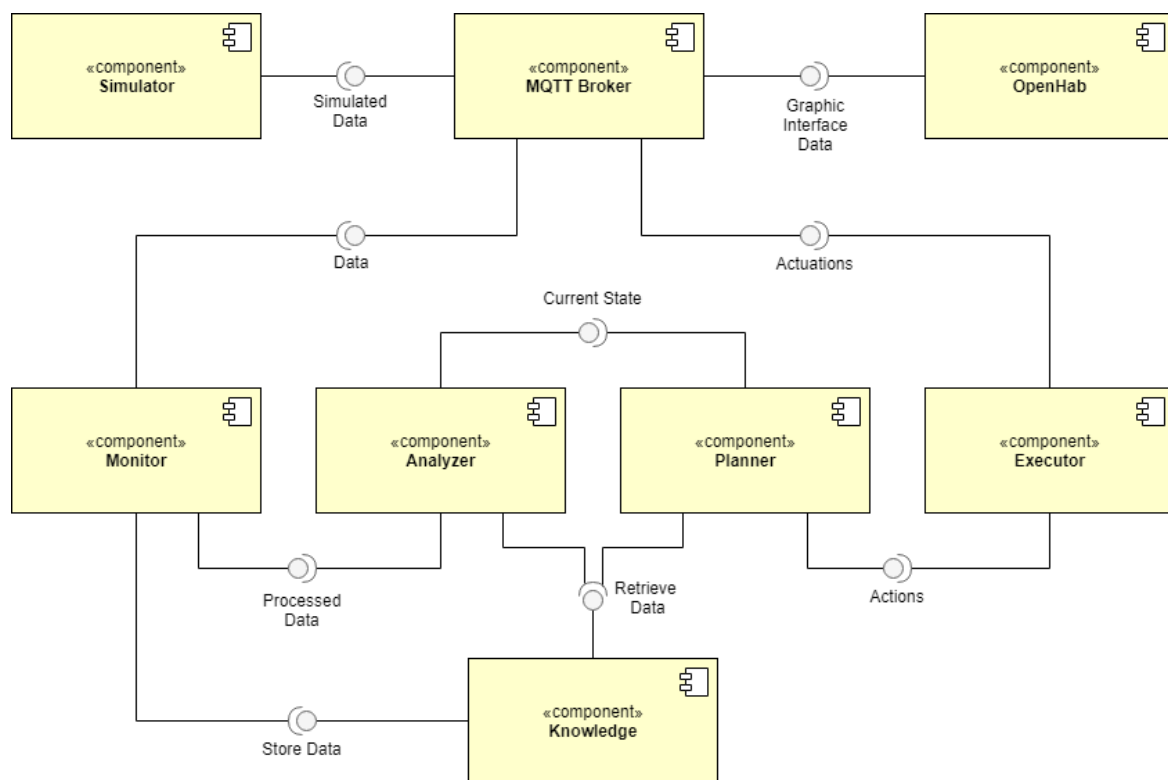


Figura 3: Component Diagram

Lo stile architetturale utilizzato per la realizzazione del sistema è basato sul **MAPE-K loop**, di conseguenza le componenti principali sono rappresentate da Monitor, Analyzer, Planner, Executor e Knowledge. Di seguito è riportata una descrizione dettagliata di ogni componente.

Il **Simulator** è la componente responsabile della generazione dei dati simulati; attraverso l'interazione con il componente **MQTT Broker** fornisce le informazioni prodotte al resto del sistema pubblicandole su canali MQTT. Il **Monitor** sarà responsabile della raccolta di tali informazioni (attraverso la sottoscrizione ai canali di ricezione dati) e dell'invio delle stesse alla componente **Analyzer**, la quale si occuperà del controllo di eventuali situazioni di pericolo interne alla serra e del successivo invio dei risultati prodotti al **Planner**. Quest'ultima componente si occupa di predisporre azioni opportune in base alla situazione esplicitata dall'Analyzer. È responsabile delle funzionalità

reattive del sistema e si occupa inoltre di interrogare la Knowledge per accedere alle funzionalità predittive.

Alla fine di questo flusso, la componente **Executor**, una volta raccolte le informazioni ricevute dal Planner va ad attuare gli eventuali cambiamenti di stato previsti. Si occupa inoltre di aggiornare l'interfaccia grafica pubblicando tutti gli aggiornamenti di stato sugli opportuni canali MQTT. Tutti i dati relativi alle situazioni attuali di ciascuna serra vengono mostrati in tempo reale sull'interfaccia grafica di **OpenHab** che permette una visualizzazione chiara ed intuitiva. Oltre alla visualizzazione ciascun utente può interagire con il sistema stesso ed effettuare i cambiamenti desiderati. La **Knowledge** infine rappresenta la componente che si interfaccia al database MySQL e consente inoltre di accedere alle funzionalità predittive del sistema.

5.2 Database Schema

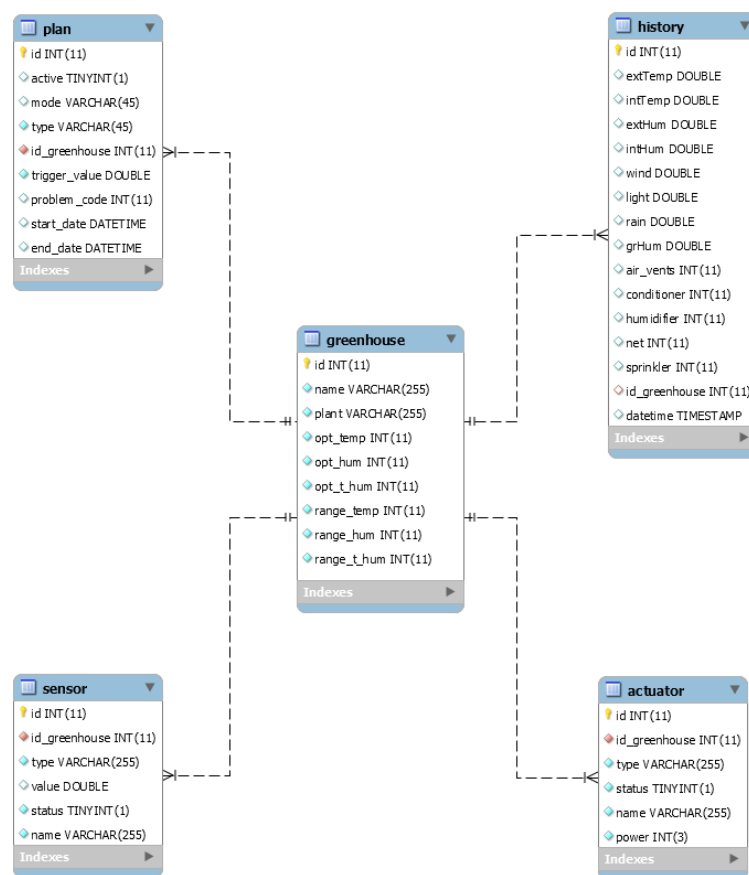


Figura 4: Database Schema

L'entità principale del seguente modello dati è denominata **Greenhouse** e corrisponde alla serra; gli attributi che la contraddistinguono sono l'id, il nome, il nome della pianta contenuta in essa, i valori ottimali di temperatura, umidità dell'aria e umidità del terreno ed infine i range che definiscono l'intervallo che intercorre tra l'ottimo e la soglia reattiva. Ciascuna Greenhouse è in relazione con le entità Sensor e Actuator le quali rappresentano rispettivamente i sensori e gli attuatori contenuti all'interno di ogni serra. I sensori sono contraddistinti da un identificativo, un nome, un *id_greenhouse*, ovvero il riferimento alla serra nel quale è contenuto, un tipo (ad esempio sensore di temperatura o rilevatore di pioggia), lo stato, che indica se il sensore è attivo o meno ed il valore. Quest'ultimo in particolare rappresenta il valore del sensore all'inizio della simulazione. Dall'altro lato troviamo l'entità **Actuators**; anche questa è composta da un id, il nome, l'id della greenhouse di

appartenenza, il tipo (ad esempio condizionatore o sportello di aerazione), lo stato ed infine il power, ovvero il valore di potenza settato. Quest'ultimo campo assume lo stesso ruolo del campo valore dell'entità **Sensor**. In relazione con Greenhouse troviamo anche l'entità **History**; questa tabella rappresenta lo storico principale del nostro. Ogni record contenuto in essa rappresenta lo stato attuale di una greenhouse, ovvero tutti i valori dei sensori e degli attuatori in un preciso istante nel tempo. Nel modello troviamo infine l'entità **Plan**; essa si occupa di memorizzare tutti i piani definiti dal planner, ovvero quelli inerenti alla temperatura interna o all'umidità interna. E' contraddistinta da un id, un booleano che indica se il piano è in corso o meno, la modalità energetica attiva in quel momento, il tipo del sensore ed il valore che hanno scatenato il piano, il codice del problema corrispondente ed infine la data di avvio e quella di terminazione.

6. Vista Dinamica

6.1 Sequence Diagram

Di seguito viene riportata la vista dinamica del sistema in esecuzione attraverso l'utilizzo di Sequence Diagram. In particolare, viene riportata un'esecuzione del sistema ad alto livello in modo da evidenziare le varie interazioni tra i componenti all'interno dell'applicazione. Inoltre, viene mostrata separatamente l'esecuzione del processo di update da parte di un utente. Nei Sequence Diagram che seguono **non** viene riportato l'elemento MQTT Broker in modo da evitare ridondanze e in modo tale da fornire una comprensione più chiara del sistema. Le interazioni tra componenti che fanno uso delle funzionalità del MQTT Broker sono identificate da un asterisco. Nello specifico, distinguiamo le interazioni di tipo publish che pubblicano messaggi sui canali MQTT e i Messages Arrived che rappresentano l'arrivo effettivo di questi messaggi alle rispettive componenti.

6.1.1 Esecuzione del Sistema

In questo scenario viene descritto quello che è il flusso dei dati ed il comportamento del sistema in una sua esecuzione standard. Inizialmente il simulatore si occupa di generare i dati dell'iterazione corrente in base a quelli conservati e/o ricevuti nell'iterazione precedente. Successivamente, attraverso i canali MQTT, invia le informazioni in suo possesso al Monitor il quale, dopo un'opportuna fase di formattazione e raggruppamento, si occuperà di inoltrare i dati all'interfaccia grafica per la visualizzazione, salvare lo stato attuale del sistema interfacciandosi con la componente Knowledge ed infine di inviare il tutto all'Analyzer. Quest'ultimo raccoglierà i dati relativi alla serra interfacciandosi con la Knowledge ricavando da essi i codici di stato della serra che descrivono la situazione corrente. A questo punto l'Analyzer cederà il controllo al Planner il quale, dopo aver ricavato i piani attivi in quell'istante ed aver effettuato una possibile predizione, si occuperà di produrre le eventuali azioni necessarie al mantenimento dell'ottimalità di ciascuna serra, servendosi dei codici di stato ricevuti precedentemente. Nel caso vengano prodotte azioni, verranno inviate all'Executor che si occuperà di inoltrarle ad OpenHab per renderle visibili all'utente e al Simulator per la successiva iterazione di simulazione dati.

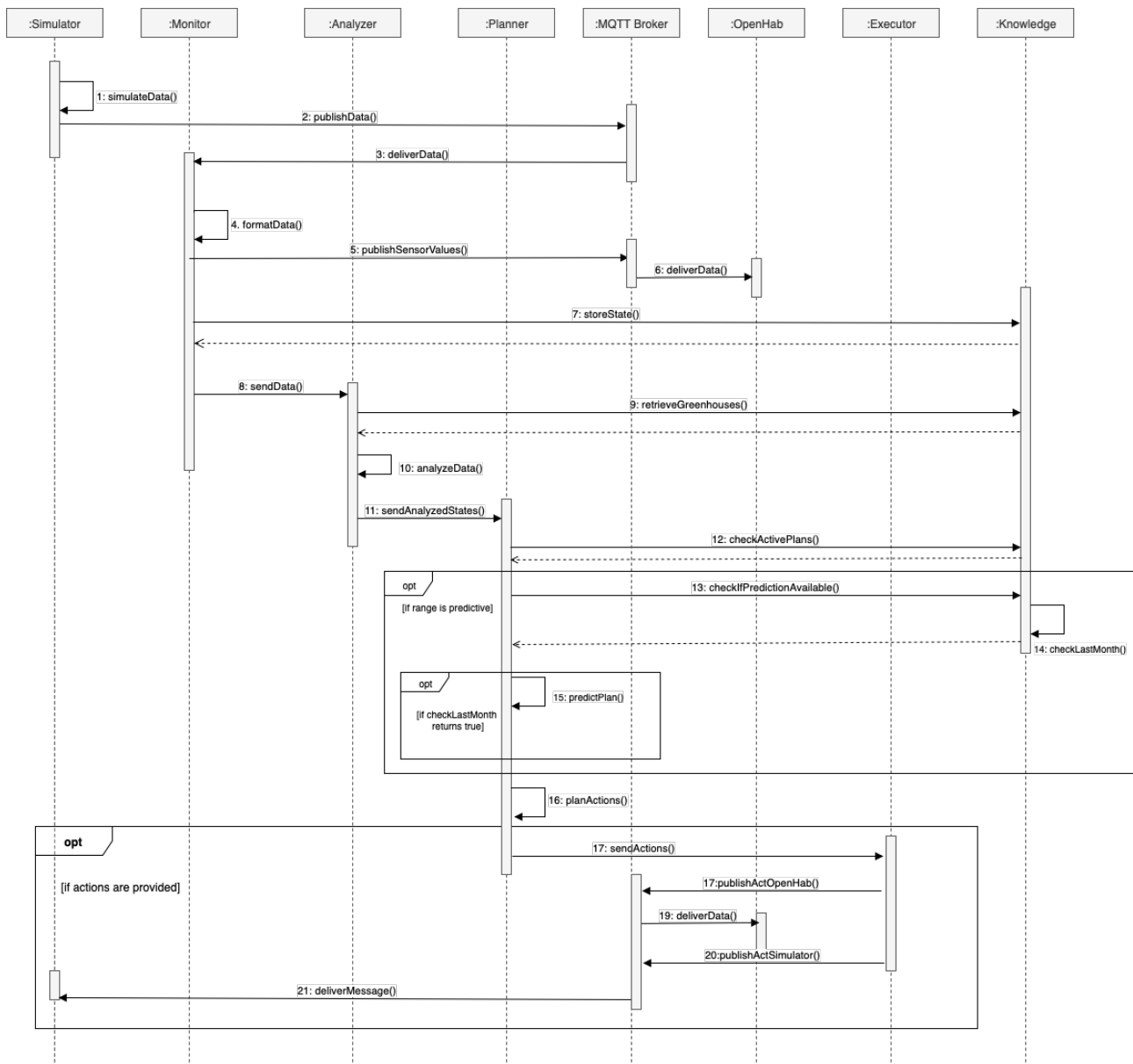


Figura 5: Sequence Diagram raffigurante l'esecuzione standard del sistema

6.1.2 Update da parte di un utente

Il seguente scenario raffigura il comportamento del sistema nel caso in cui un utente decida di effettuare un'operazione di update manuale attraverso l'interfaccia grafica di OpenHab. Nel momento in cui l'utente effettua l'azione desiderata, il cambiamento di stato prodotto verrà ricevuto dal Simulator attraverso l'apposito canale MQTT. I messaggi ricevuti andranno quindi a condizionare l'iterazione di simulazione corrente. Una volta effettuate le modifiche richieste, queste entreranno a far parte dell'esecuzione attuale.

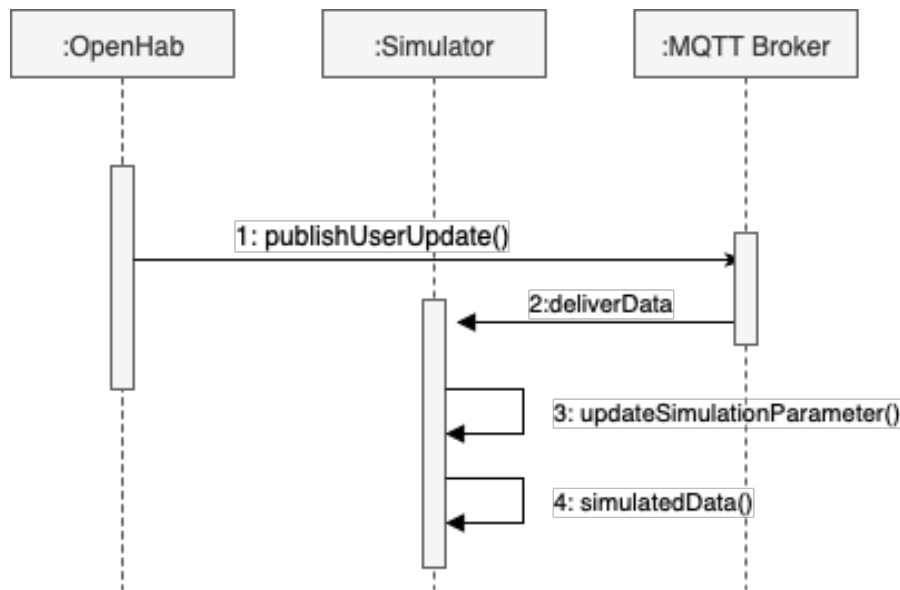


Figura 6: Sequence Diagram raffigurante l'update da parte di un utente

7. Interfaccia Grafica

L'interfaccia grafica implementata è stata sviluppata completamente attraverso l'utilizzo di OpenHab2, il quale grazie all'ausilio di canali MQTT è in grado sia di ricevere che di inviare dati. Nella figura sottostante è mostrata l'interfaccia grafica implementata.

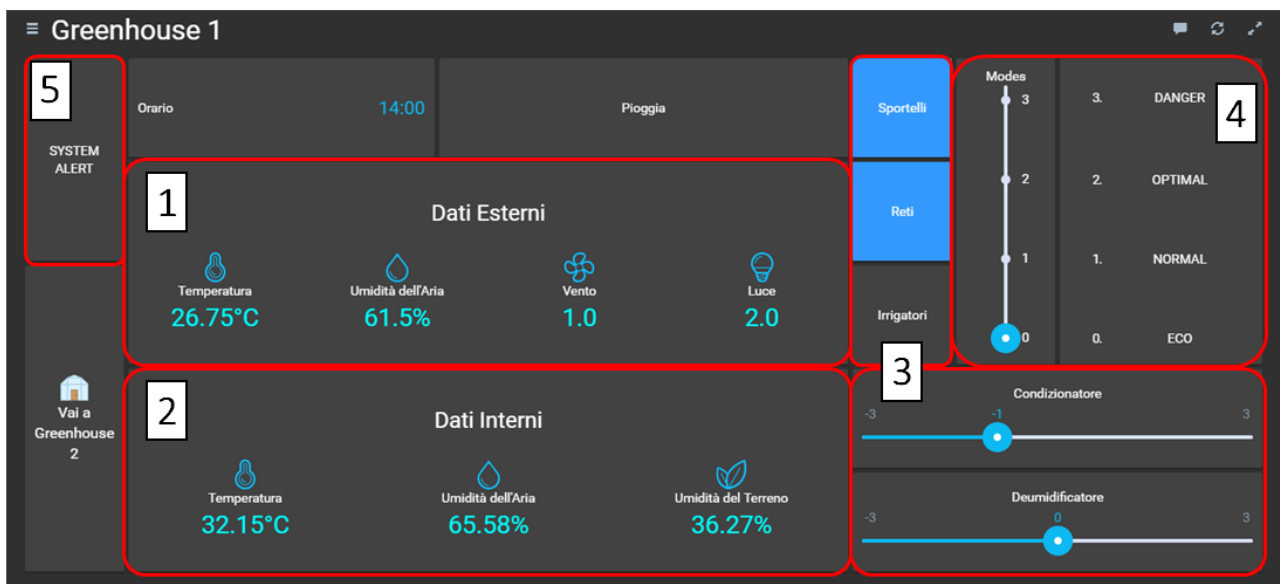


Figura 7: Interfaccia Grafica

Nel riquadro numero 1 vengono mostrati tutti i dati simulati relativi all'ambiente esterno alla serra in considerazione, in particolare:

- Temperatura Esterna

- Umidità Esterna dell'Aria
- Potenza del Vento Esterno
- Intensità Luminosa Esterna

Nel riquadro numero 2 invece sono mostrati tutti i dati relativi all'ambiente interno alla serra:

- Temperatura Interna
- Umidità dell'Aria Interna
- Umidità del Terreno

Il riquadro numero 3 mostra gli stati attuali di tutti gli attuatori presenti all'interno della serra, dall'alto in basso troviamo rispettivamente Sportelli di Areazione, Reti Ombreggianti, Irrigatori, Condizionatore e Deumidificatore. I primi tre sono rappresentati tramite pulsanti e assumono il colore blu in caso di attivazione, altrimenti grigio. I condizionatori e i deumidificatori invece sono rappresentati dagli slider sottostanti e possono assumere valori da -3 a +3 in base alla potenza settata.

Nel riquadro numero 4 viene visualizzata la modalità che è attiva nell'istante corrente. In particolare:

- Il valore 0 rappresenta la modalità ECO
- Il valore 1 rappresenta la modalità NORMAL
- Il valore 2 rappresenta la modalità OPTIMAL
- Il valore 3 rappresenta la modalità DANGER

Il riquadro numero 5 contiene invece un segnalatore di allerta che notificherà all'utente l'incorretto recupero dei dati dalla serra, quindi l'impossibilità del sistema di svolgere correttamente le proprie funzioni. Il segnalatore, nel caso appena descritto, assumerà un colore rosso.

8. Risultati

In questa sezione sono riportati i risultati della sperimentazione effettuata una volta terminata l'applicazione.

Il test svolto consiste nel mettere a confronto le performance del sistema dotato delle piene funzionalità (reattive e predittive) con lo stesso fornito unicamente dalle funzionalità di reazione.

Di seguito sono riportati alcuni grafici che illustrano i risultati ottenuti, in primis vengono mostrati quelli inerenti all'andamento della temperatura interna per poi passare alla stessa analisi per l'umidità interna.

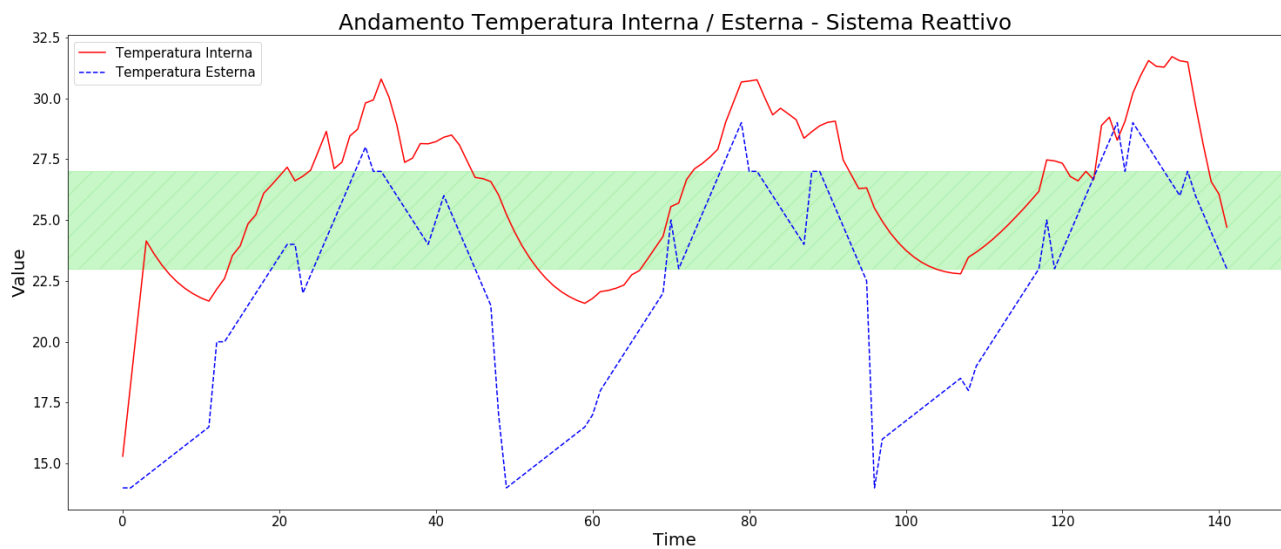


Figura 8: Andamento della Temperatura nel caso reattivo

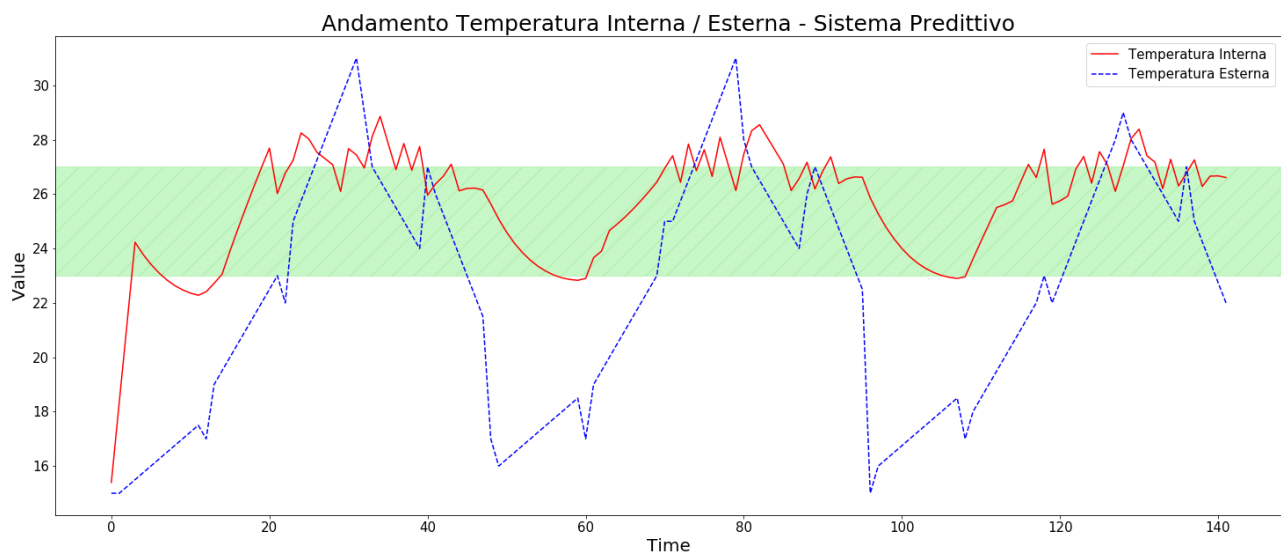


Figura 9: Andamento della Temperatura nel caso predittivo

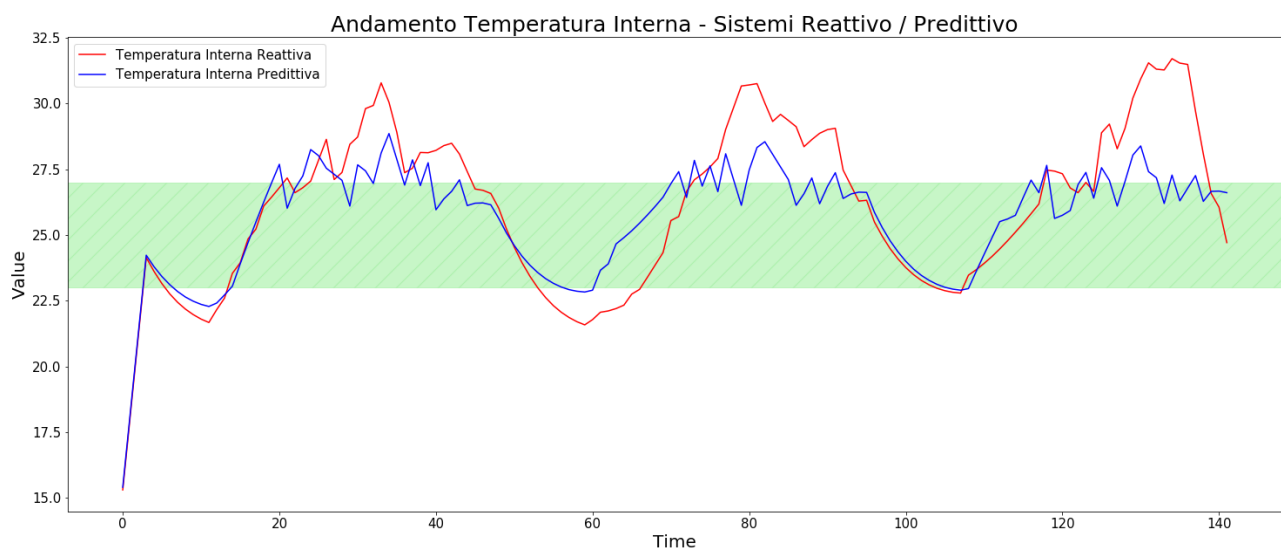


Figura 10: Andamento della Temperatura nel caso reattivo e predittivo contemporaneo

In Figura 8 confrontiamo l'andamento della temperatura esterna con quella interna considerando solamente il sistema reattivo. È già possibile osservare ad occhio nudo sia la notevole oscillazione che assume la temperatura interna, sia la sua grande dipendenza con quella esterna corrente.

In Figura 9 osserviamo invece che l'oscillazione della temperatura interna viene ridotta notevolmente attraverso le funzionalità predittive ottenendo in questo modo un mantenimento della temperatura ottimale più efficiente con una variazione limitata.

La Figura 10 mostra infine un confronto delle oscillazioni della temperatura interna ottenute dalle due diverse configurazioni del sistema. Come anticipato precedentemente è possibile osservare che l'andamento della temperatura interna ottenuta dal sistema predittivo ha una variazione minore rispetto al sistema unicamente reattivo.

Precisamente otteniamo che l'intervallo ottimale della temperatura dal sistema predittivo viene mantenuto per circa il 60% del tempo preso in esame a differenza del 38% ottenuto dal sistema prettamente reattivo; abbiamo riscontrato quindi un miglioramento intorno al 20%.

Come possiamo osservare dai grafici sottostanti applichiamo il ragionamento precedente anche alle oscillazioni che presenta l'umidità.

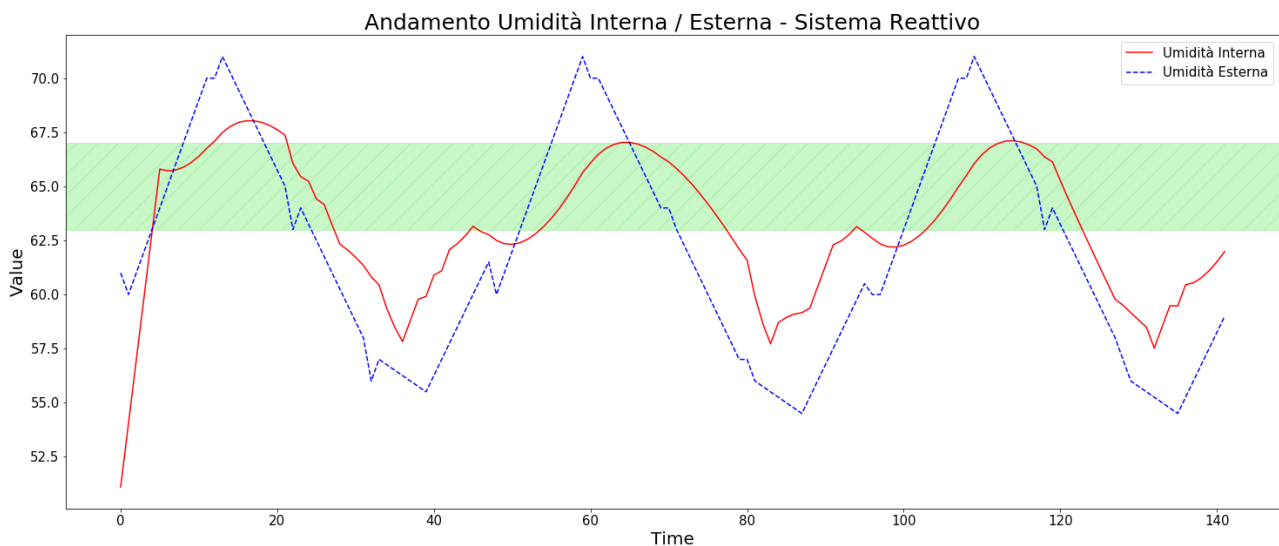


Figura 10: Andamento dell'Umidità nel caso reattivo

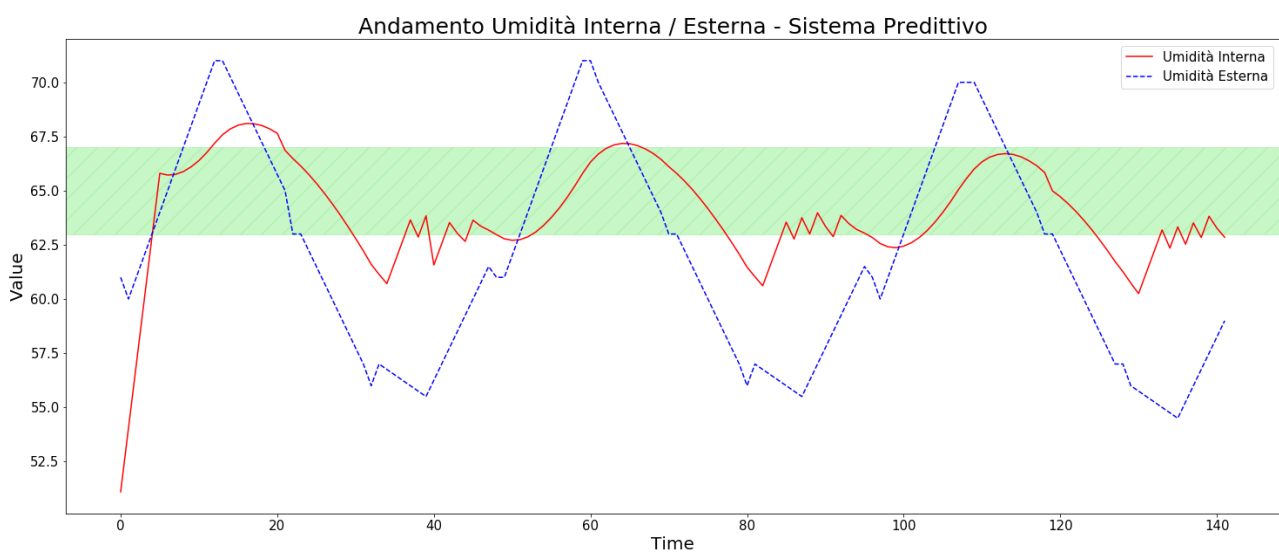
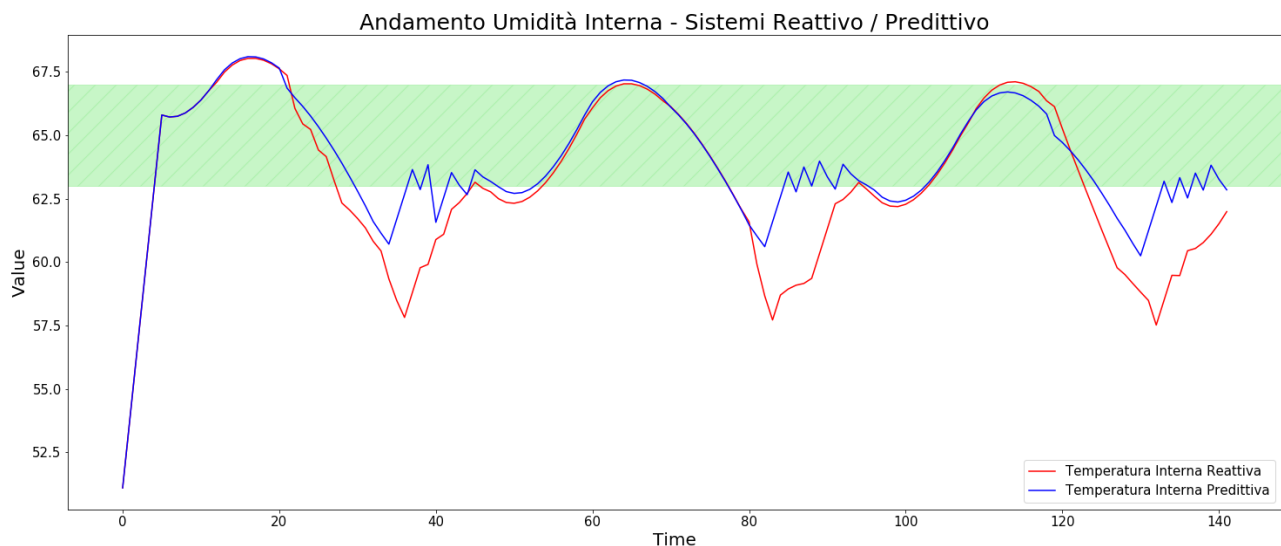


Figura 11: Andamento dell'Umidità nel caso predittivo



8.1 Figura 10: Andamento dell'Umidità nel caso reattivo e predittivo contemporaneo

9. Conclusioni

In questa sezione riportiamo le conclusioni riguardo l'applicazione sviluppata i comportamenti assunti durante la fase esecutiva.

Dopo aver effettuato l'operazione di testing, lasciando il sistema in esecuzione, si è riscontrato che GreenUp risponde in maniera altamente efficiente a quelle che sono le esigenze del contesto applicativo. Il sistema ottenuto è di tipo Iniziative Ibride (vedi sezione 1); da un lato infatti è capace di prendere autonomamente le iniziative opportune a quella che è la situazione corrente, d'altra parte anche l'utente ha la possibilità di interagire con esso, attraverso l'interfaccia grafica descritta in sezione 7, modificando manualmente i settaggi disponibili.

Sia in fase reattiva, ma soprattutto in quella predittiva si è riscontrato che GreenUp effettua scelte efficienti in base al contesto analizzato, rispettando i tempi necessari al regolare funzionamento del sistema e quindi al rigoroso mantenimento di quelle che sono le coltivazioni presenti all'interno della serra.

Analizzando i tempi di risposta dell'applicazione, possiamo affermare che essi risultano relativamente brevi, in quanto riusciamo a monitorare in tempo reale sia le situazioni presenti in ciascuna serra, sia la variazione degli stati del sistema durante l'attuazione dei diversi piani di esecuzione.

Detto ciò possiamo quindi affermare che la nostra applicazione rispetta tutti i requisiti necessari alla realizzazione di un sistema autonomo all'interno del contesto specificato.