

Università degli Studi di Salerno

Dipartimento di Ingegneria dell'informazione ed Elettrica e  
Matematica applicata

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica



# **Progettazione e sviluppo di un firmware per il sistema di controllo di un fornello a induzione**

**Sistemi Embedded**

Cerasuolo Cristian - 0622701899 c.cerasuolo2@studenti.unisa.it

Ferrara Grazia - 0622701901 g.ferrara75@studenti.unisa.it

Guarini Alessio - 0622702042 a.guarini7@studenti.unisa.it

**Docente**

Vincenzo Carletti - vcarletti@unisa.it

A.A. 2022-2023

# Indice

<b>1</b>	<b>Progettazione</b>	<b>1</b>
1.1	User Stories . . . . .	1
1.2	Use Cases . . . . .	2
1.2.1	Turn ON [US1] . . . . .	2
1.2.2	Turn OFF [US2] . . . . .	2
1.2.3	Change Power [US3-US4] . . . . .	3
1.2.4	Select New Power [US5] . . . . .	3
1.2.5	Pot Removed Alarm [US6] . . . . .	4
1.2.6	General Use Case . . . . .	4
1.3	Activity Diagrams . . . . .	6
1.3.1	Turn ON/OFF . . . . .	6
1.3.2	Increase Power . . . . .	6
1.3.3	Decrease Power . . . . .	7
1.3.4	Usual Behavior . . . . .	8
1.3.5	Pot removed while cooking . . . . .	8
1.4	State Diagram . . . . .	10
1.4.1	Induction Cooker Core . . . . .	10
1.4.2	Level button increase/decrease power . . . . .	11
1.4.3	Level button ON/OFF . . . . .	12
1.4.4	Toggling LED . . . . .	13
<b>2</b>	<b>Implementazione</b>	<b>14</b>
2.1	Descrizione del modello Stateflow . . . . .	14
2.1.1	Induction Cooker Control System . . . . .	14
2.1.2	ON/OFF button . . . . .	15
2.1.3	Increase/Decrease button . . . . .	16
2.1.4	Toggling LED . . . . .	16
2.1.5	Induction Cooker Core . . . . .	17
2.1.6	Alarm . . . . .	21
2.1.7	Simulink Setup . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Validazione</b>	<b>23</b>
3.1	Descrizione degli scenari di test realizzati in Stateflow . . . . .	23
3.1.1	Test ON/OFF button . . . . .	23
3.1.2	Test Increase/Decrease Buttons . . . . .	23
3.1.3	Test Toggling LED . . . . .	24
3.1.4	Test Induction Cooker Core . . . . .	24
3.1.5	Test Integration . . . . .	24
<b>4</b>	<b>Deploy del firmware</b>	<b>27</b>
4.1	Pin utilizzati . . . . .	27
4.2	Descrizione degli scenari di test effettuati sul dispositivo . . . . .	27

# 1 Progettazione

## 1.1 User Stories

Per la descrizione delle funzionalità che il sistema di controllo del fornello a induzione deve avere, si riportano di seguito i requisiti in formato *user story*, poste dal punto di vista dell'utente che vi interagisce.

### US 1

Un utente, a fornello spento, premendo il **pulsante di accensione** può accendere istantaneamente il fornello con potenza 0W. Il **LED di accensione** (LED verde) si accende quando il fornello viene acceso.

### US 2

Un utente, a fornello acceso, tenendo premuto per 1s il **pulsante di accensione**, può spegnere il fornello. Il **LED di accensione** (LED verde) si spegne.

### US 3

Un utente, a fornello acceso e con pentola posizionata, può aumentare la potenza del sistema premendo per almeno 1s il **pulsante di aumento della potenza**. Dopo 5s la potenza cambia effettivamente se non viene modificata ulteriormente tramite la pressione di uno dei **tasti di aumento/diminuzione della potenza**.

### US 4

Un utente, a fornello acceso e pentola posizionata, può diminuire la potenza del sistema premendo per almeno 1s il **pulsante di diminuzione della potenza**. Dopo 5s la potenza cambia effettivamente se non viene modificata ulteriormente tramite la pressione di uno dei **tasti di aumento/diminuzione della potenza**.

### US 5

Un utente, quando una potenza viene impostata, vede il **led di potenza** (LED giallo) lampeggiare con una frequenza dipendente dalla potenza scelta.

1. 0W spento
2. 300W lampeggia con periodo di 2s
3. 500W lampeggia con periodo di 1s
4. 1000W lampeggia con periodo di 500ms
5. 1500W lampeggia con periodo di 250ms

### US 6

Un utente, a fornello acceso ed attivo, rimuovendo la pentola vede il **led di errore** (LED rosso) accendersi.

1. Se viene riposizionata entro 10s, il **led di errore** si spegne.
2. Se non viene riposizionata entro 10s, il **led di errore** si spegne, e il sistema si disattiva (il **led di potenza** si spegne).

## 1.2 Use Cases

Gli *Use Cases Diagram* sono stati modellati sulla base della user stories di cui prima. Ogni use case rappresenta un'attività distinta che implica l'interazione esterna con il sistema. L'attore descritto in questi casi d'uso rappresenta un generico utente che interagisce con il fornello. Di seguito gli uses cases ottenuti per ciascuna user story.

### 1.2.1 Turn ON [US1]

Questo use case, che modella la US1, ha come attore l'utente e descrive la sua azione di accendere il sistema. L'accensione viene segnalata tramite l'accensione dell'apposito LED verde.

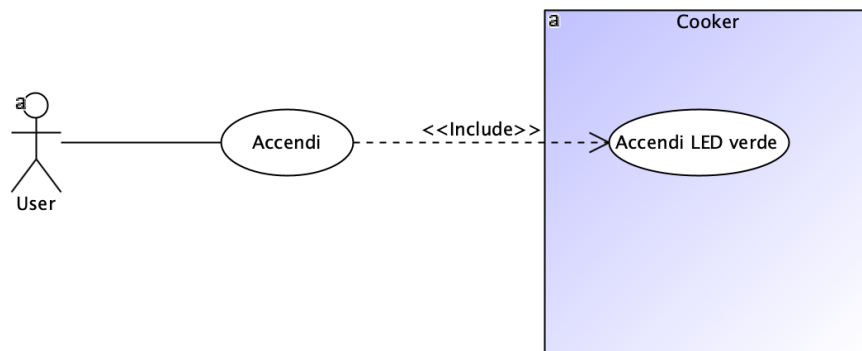


Figura 1: Use Case per la prima user story.

### 1.2.2 Turn OFF [US2]

Questo use case, che modella la US2, ha come attore l'utente e descrive la sua azione di spegnere il sistema. Lo spegnimento del sistema comporta lo spegnimento di tutti i LED attivi.

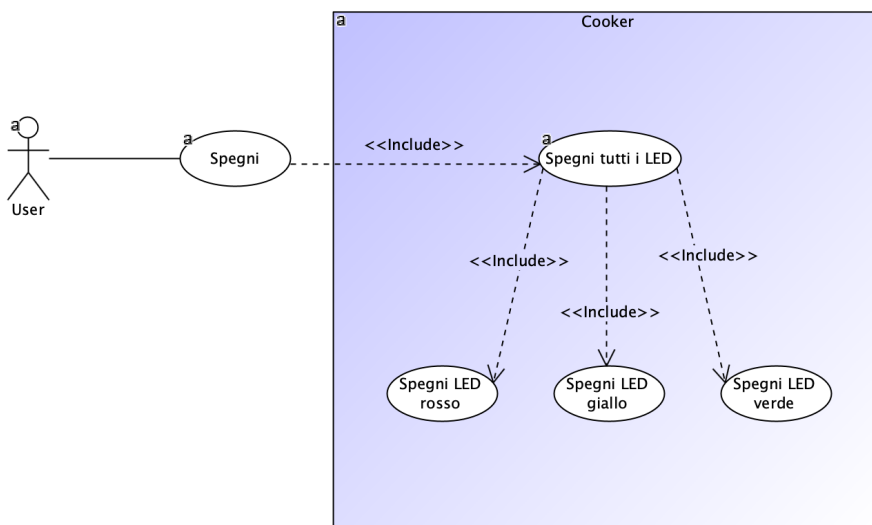


Figura 2: Use Case per la seconda user story.

### 1.2.3 Change Power [US3-US4]

Questo use case, che modella US3 ed US4, ha come attore l'utente, che effettua l'azione del cambio potenza. Il cambio potenza può consistere sia in un aumento, che in una diminuzione. Il cambiamento della potenza si concretizza in un cambio della frequenza di lampeggiamento del LED giallo in una nuova frequenza, corrispondente alla potenza selezionata. Il cambio della frequenza del LED giallo dipende dal fatto che esso sia acceso e quindi che il sistema sia attivo.

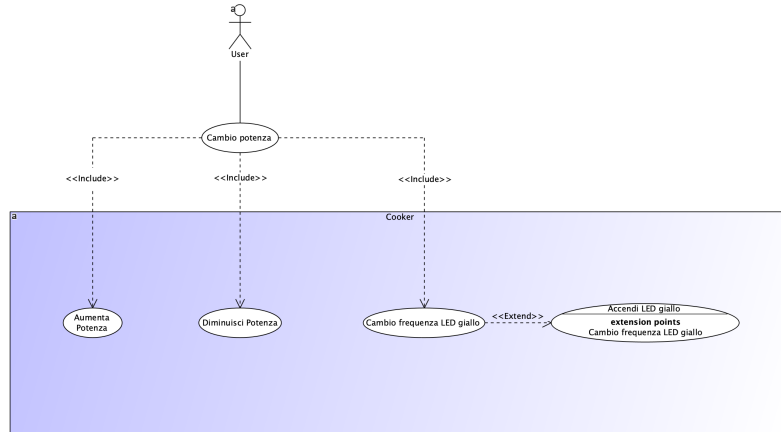


Figura 3: Use Case per la terza e la quarta user story.

### 1.2.4 Select New Power [US5]

Questo use case, che modella la US5, ha come attore l'utente, che effettua l'azione del cambio potenza. Abbiamo diverse potenze che potrebbero essere da lui selezionate, pertanto si è ritenuto opportuno modellarle in questo caso d'uso come delle estensioni della generica richiesta di selezionare una potenza diversa da quella attuale.

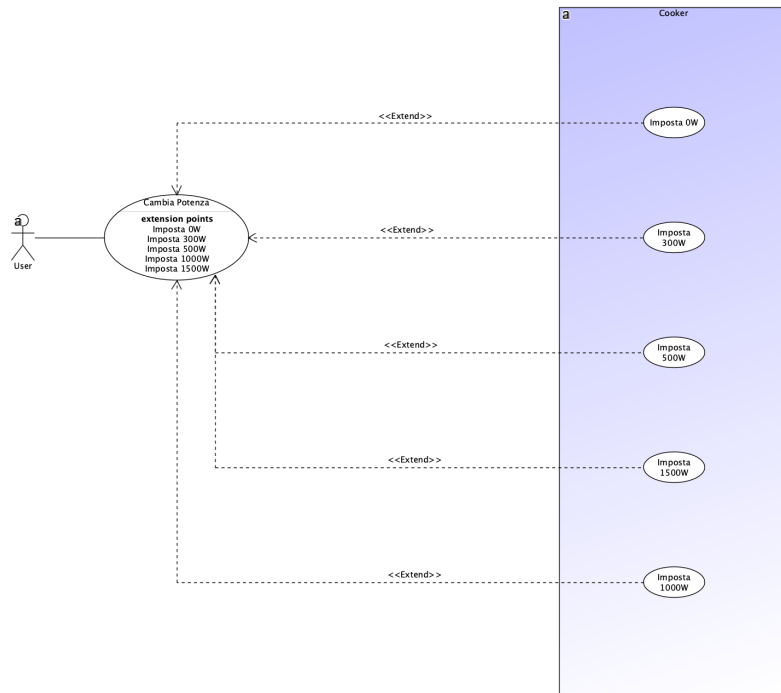


Figura 4: Use Case per la quinta user story.

### 1.2.5 Pot Removed Alarm [US6]

Questo use case, che modella la US6, ha come attore l'utente, che effettua l'azione della rimozione della pentola. Chiaramente la rimozione della pentola è possibile solo se prima era stata effettivamente posizionata una pentola. La rimozione della pentola implica l'attivazione dell'allarme, che viene notificato con l'accensione del LED rosso.

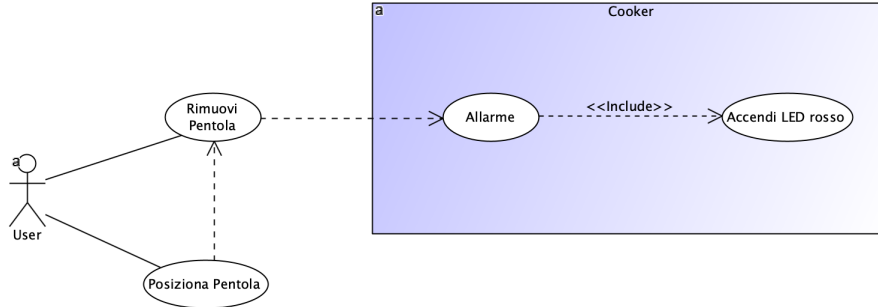


Figura 5: Use Case per la sesta user story.

### 1.2.6 General Use Case

Infine, vi è uno use case generale che descrive le possibili interazioni che un utente può avere con la macchina e le rispettive azioni che derivano da essa.

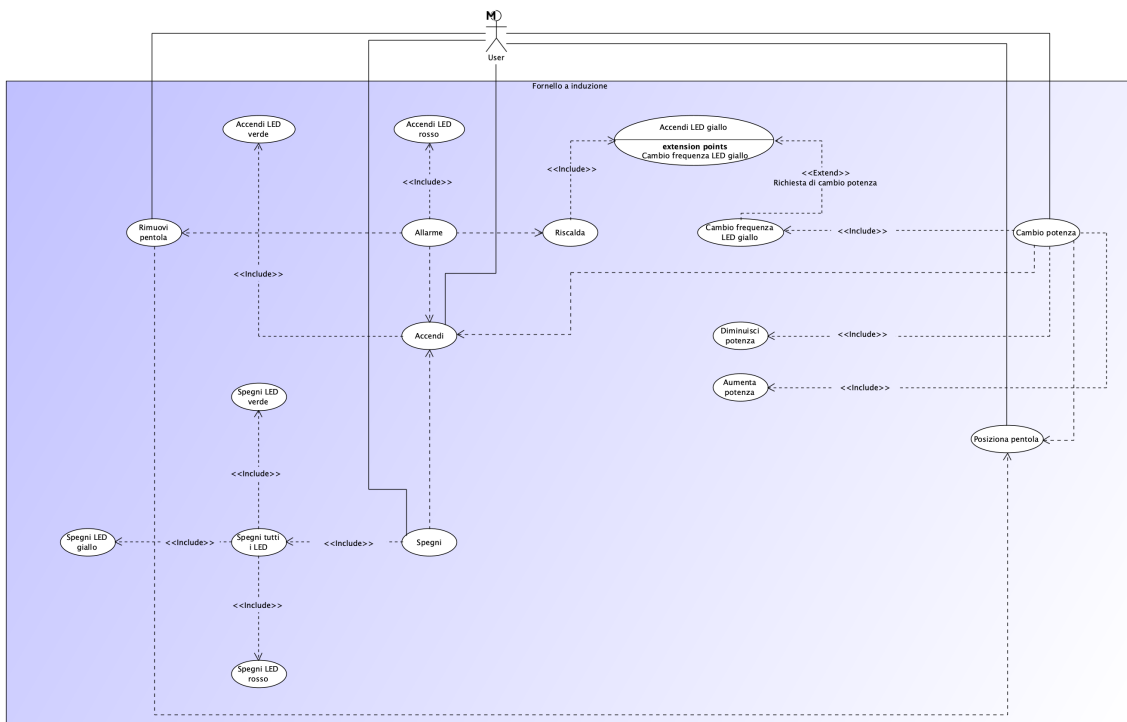


Figura 6: Use Case generale del sistema.

In questa vista generale, possiamo dunque notare tutte le possibili azioni che l'utente può compiere per interagire con il sistema di controllo del fornello a induzione:

- *Accendere il fornello.* Essa implica l'accensione del rispettivo LED verde.
- *Spegnere il fornello.* Essa provoca lo spegnimento di tutti i LED.

- *Cambiare la potenza.* Questa azione potrebbe consistere in un *aumento* o una *diminuzione* della potenza ed ha una dipendenza dal fatto che il sistema sia stato precedentemente acceso e che la pentola sia stata posizionata. Inoltre, il cambio potenza implica che venga cambiata la frequenza di lampeggiamento del LED giallo. Il fatto che venga cambiata la frequenza di lampeggiamento del LED giallo è stata vista come un particolare comportamento legato all'accensione dello stesso (estensione). Il lampeggio del LED è indice del fatto che il sistema stia effettivamente riscaldando.
- *Posizionare la pentola.*
- *Rimuovere la pentola.* Essa dipende dal fatto che la pentola sia stata precedentemente posizionata sul fornello. Quest'azione implica l'assunzione del sistema di uno stato di allarme che, a sua volta, implica l'accensione del LED rosso. L'avvio dell'allarme dipende dal fatto che il sistema stesse in precedenza riscaldando e che fosse acceso.

### 1.3 Activity Diagrams

Gli *activity diagrams* rappresentano il flusso di attività o azioni che si ha nel sistema. Sono stati prodotti molteplici di questi diagrammi, in maniera tale da rappresentare scenari differenti e tipici utilizzando gli elementi messi a disposizione dalla sintassi UML.

Sugli archi del diagramma sono rappresentati i nomi della transizione e la condizione ad essa associata.

#### 1.3.1 Turn ON/OFF

Assumiamo che il fornello sia inizialmente spento. Il diagramma qui riportato vuole descrivere la sequenza che consente accensione e spegnimento del fornello a induzione. L'utente può accenderlo premendo l'apposito pulsante. Una volta acceso, può essere spento premendo il medesimo pulsante per la durata di un secondo.

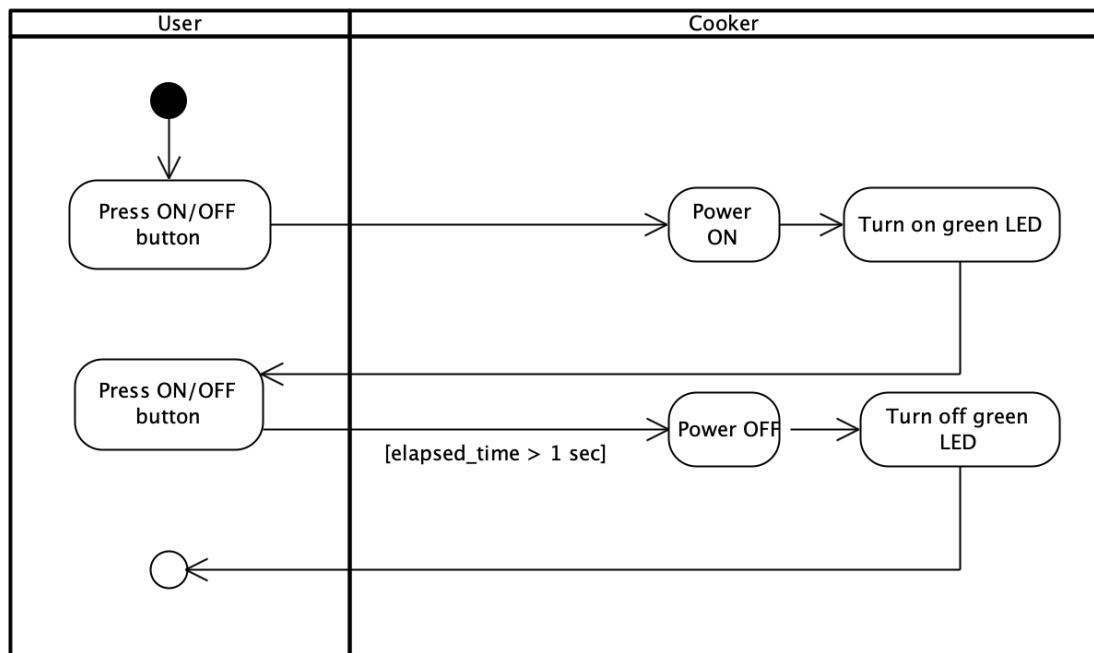


Figura 7: Activity diagram dell'accensione/spegnimento del sistema.

#### 1.3.2 Increase Power

Assumiamo che il sistema sia inizialmente spento. Alla pressione del pulsante di accensione da parte dell'utente, il fornello viene acceso. L'accensione del fornello è indicata dal sistema attraverso l'accensione del LED verde. Dopodiché immaginiamo che l'utente voglia effettuare una cottura, a tal fine deve passare dalla potenza di 0 W, ad una potenza maggiore tra quelle disponibili (300W, 500W, 1000W, 1500W). L'utente effettua una pressione sul pulsante apposito per l'aumento della potenza per la durata di un secondo e seleziona il livello di potenza appena successivo a quello corrente (tra quelli disponibili). Il nodo di *fork* presente all'interno del diagramma consente contemporaneamente di valutare la selezione attuale, o di premere nuovamente il pulsante. Se il pulsante non viene nuovamente premuto per la durata di 5 s, la potenza selezionata diventa effettiva e la frequenza del LED giallo viene aggiornata a quella corrente. L'utente può ripetere l'operazione fino a che non è soddisfatto della potenza selezionata. Consideriamo il caso particolare in cui l'utente sta cuocendo con una potenza corrente di 1500W (che è quella massima consentita dal sistema di controllo) e decide di incrementarla ulteriormente. In tale situazione non avviene alcuna variazione di potenza.



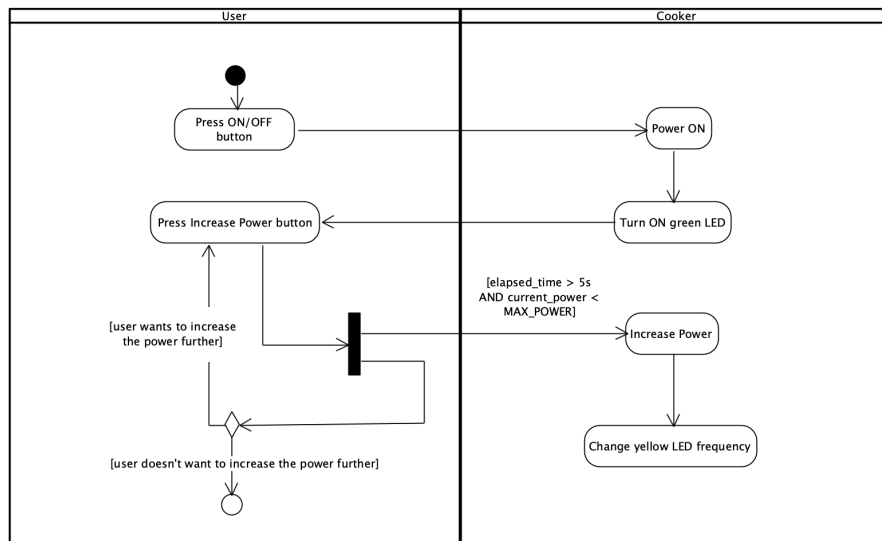


Figura 8: Activity diagram dell'aumento della potenza.

### 1.3.3 Decrease Power

Assumiamo che il sistema sia acceso (led verde acceso) ed attivo (led giallo lampeggiante con la frequenza associata alla attuale potenza di cottura). Immaginiamo che l'utente si sia reso conto che sta cuocendo ad una potenza troppo elevata e vuole decrementarla. In tale situazione egli preme per la durata di un secondo il pulsante che consente di diminuire la potenza. Abbiamo un nodo *fork*, in maniera analoga alla situazione precedente, che consente contemporaneamente di valutare se l'utente ha premuto nuovamente il bottone per decrementare la potenza o meno e, di verificare se sono trascorsi 5s dall'ultima richiesta di cambio potenza. In quest'ultima ipotesi, la potenza selezionata diventa effettiva e la frequenza del LED giallo viene aggiornata a quella corrente. L'utente può ripetere l'operazione fino a che non è soddisfatto della potenza selezionata. Consideriamo il caso particolare in cui l'utente sta cuocendo con una potenza corrente di 300W e decide di diminuirla, selezionando una potenza di 0W. In tale situazione, se non avvengono ulteriori cambiamenti di potenza da parte dell'utente nei successivi 5s e quindi la scelta diventa effettiva, il fornello viene disattivato, sebbene continui ad essere acceso.

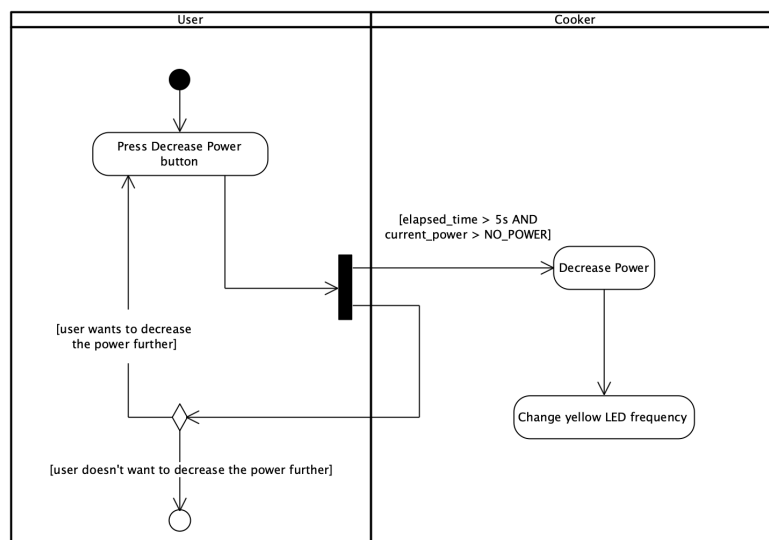


Figura 9: Activity diagram della diminuzione della potenza.

### 1.3.4 Usual Behavior

Assumiamo che il sistema sia inizialmente spento. Alla pressione del pulsante di accensione, il fornello viene acceso. Affinché esso risulti attivo, è necessario che l'utente prema il pulsante di aumento della potenza ed attenda 5 secondi affinché questo diventi effettivo. Dopodiché l'utente può decidere di decrementare la potenza, aumentarla ulteriormente, oppure ritenersi soddisfatto. In quest'ultimo caso, si giunge allo stato finale (fornello in cottura). Il comportamento nel caso in cui si tenti o di incrementare oltre il limite massimo o di decrementare oltre il limite minimo è analogo a quanto descritto nei due activity diagram precedente che rappresentano una sottoparte di quest'ultimo.

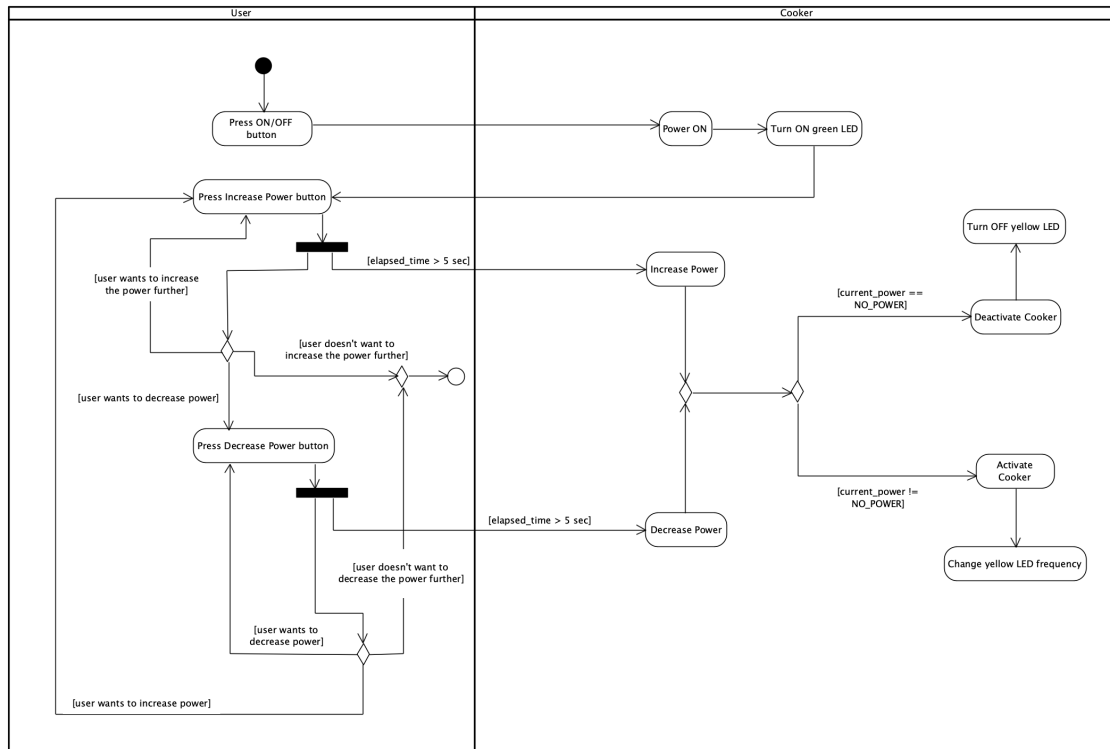


Figura 10: Activity diagram che descrive un normale utilizzo.

### 1.3.5 Pot removed while cooking

Questo diagramma vuole descrivere l'attività di un utente che sta cucinando (quindi il suo fornello è acceso ed attivo) ed improvvisamente si trova a dover allontanare la pentola. Tale azione può essere causata da due possibili motivazioni:

1. l'utente ha allontanato la pentola dal fornello per pochi secondi volutamente (magari per eseguire una particolare tipologia di cottura su un alimento),
2. l'utente ha allontanato la pentola dal fornello e si è dimenticato di averlo lasciato attivo.

Nel caso 1. immaginiamo che l'evento abbia una durata inferiore o uguale a 10 sec, pertanto vi sarà uno stato di allarme del fornello fintanto che la pentola sarà lontana e sarà disattivato non appena verrà riposizionata. Nel caso 2. immaginiamo che l'evento abbia una durata superiore a 10 sec, pertanto lo stato di allarme del fornello verrà disattivato allo scadere dei 10 sec ed insieme ad esso verrà disattivato anche il fornello, tornando nello stato di acceso. In tutti i casi, se l'utente preme il pulsante di spegnimento per la durata di un secondo, questo ha la priorità ed il fornello si spegne.

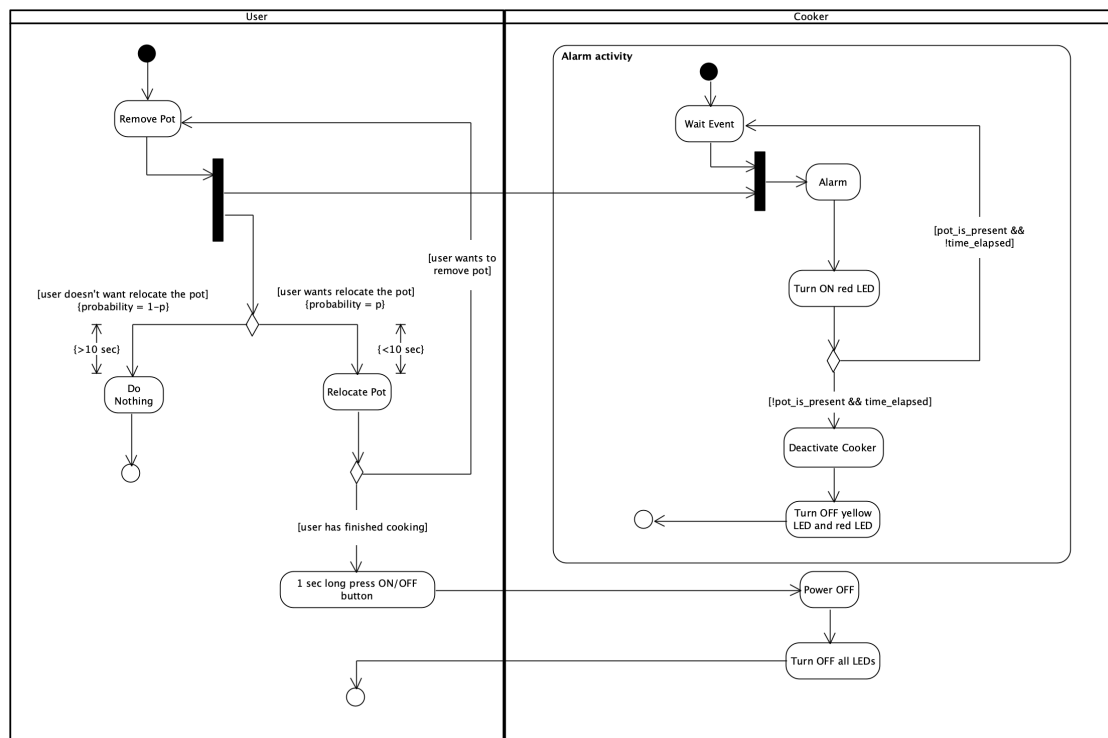


Figura 11: Activity diagram della rimozione della pentola.

## 1.4 State Diagram

### 1.4.1 Induction Cooker Core

Lo *state diagram* modella il comportamento del sistema in risposta a eventi esterni e interni, passando da uno stato all'altro. Ciascuno stato può effettuare delle operazioni sulle variabili interne e sulle uscite del sistema. Gli *input* del diagramma principale sono:

- **onoff.button**: Bottone di accensione e di spegnimento. È impulsivo per l'accensione ed a livelli per lo spegnimento.
- **increase\_power.button** Bottone per aumentare la potenza. A livelli.
- **decrease\_power.button** Bottone per decrementare la potenza. A livelli.
- **pot\_presence** Sensore di rilevazione pentola. Impulsivo.

Per quanto riguarda gli output:

- **onoff\_led** Led verde. Acceso se il dispositivo è acceso, spento altrimenti.
- **power\_led** Led giallo. Si accende e lampeggia a frequenze diverse quando la potenza è  $> 0W$ .
- **alert\_led** Led rosso. Si accende quando viene rimossa la pentola ed il sistema è attivo.

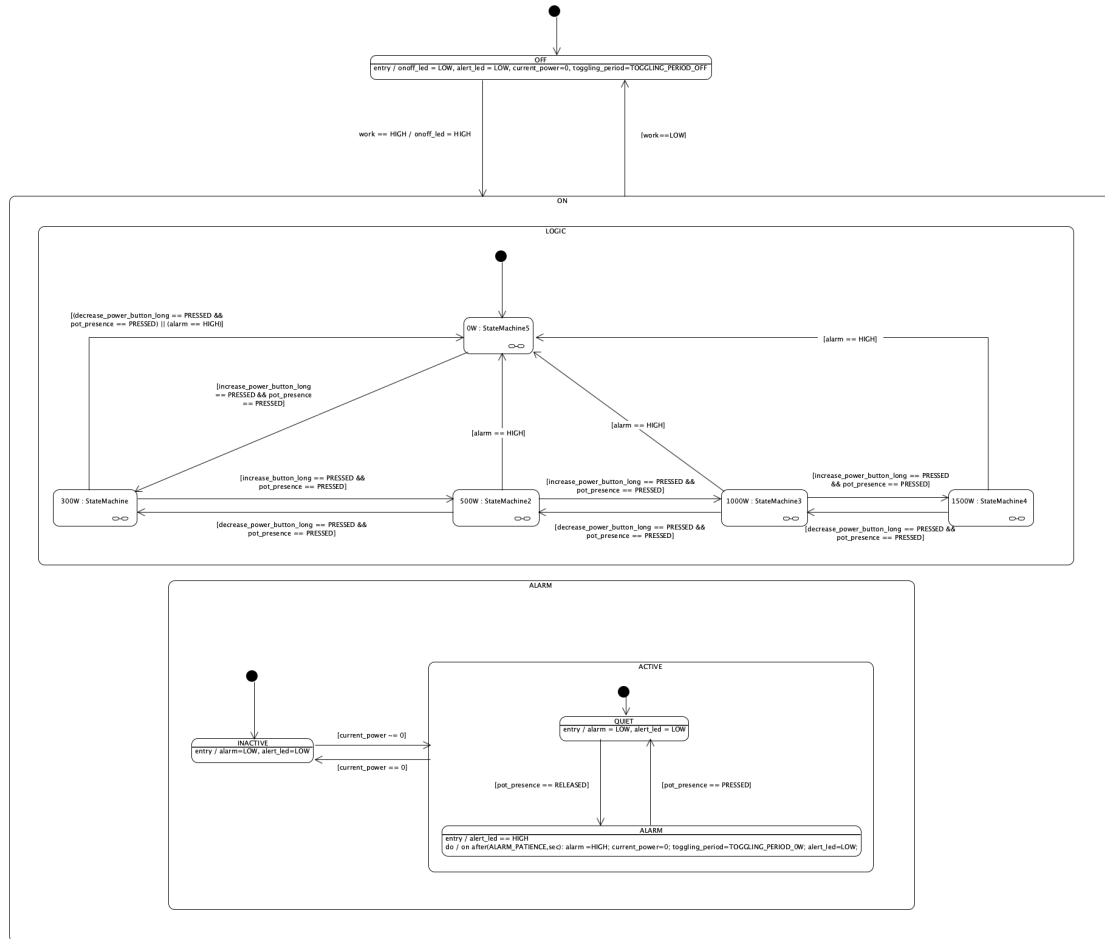


Figura 12: State Diagram che modella il comportamento del sistema di controllo.

Nel diagramma principale, i vari stati che rappresentano le potenze contengono un subdiagram. Ad esempio, per quanto riguarda lo stato 0W, il subdiagram è quello di figura 13. In particolare,

quando il sistema viene attivato, dallo stato Wait allo stato Set viene effettuato un passaggio immediato in quanto da un livello gerarchico superiore viene imposto un livello di potenza corrente da rispettare; mentre quando si arriva nello stato 0W tramite l'utilizzo dei bottoni di aumento e diminuzione della potenza, vi è una fase di attesa di 5s prima di transitare.

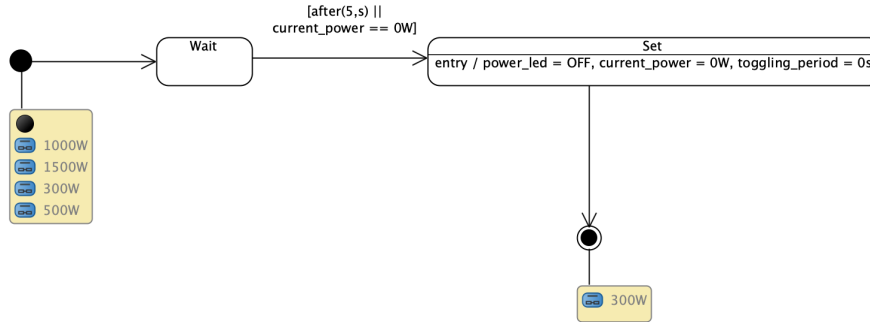
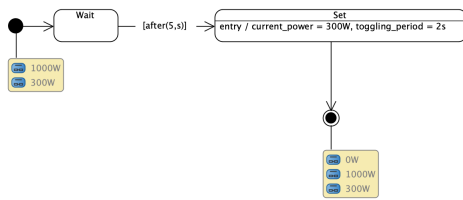
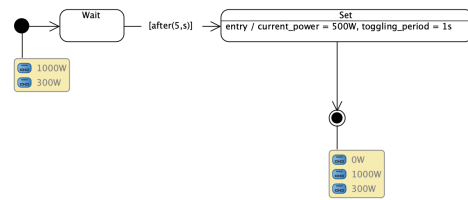


Figura 13: State diagram che modella il cambiamento di potenza a 0W.

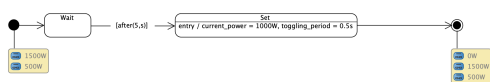
I seguenti, invece, sono simili al precedente tuttavia non contemplano la situazione in cui ad un livello gerarchico superiore viene fatta l'imposizione della potenza corrente, in quanto all'attivazione la potenza da imporre è solo 0W. Per cui, quando si arriva in tali stati, l'unico modo per vederne l'effetto è attendere i 5s.



(a) 300W



(b) 500W



(a) 1000W



(b) 1500W

Figura 15: State diagrams che modellano il cambiamento di potenza.

#### 1.4.2 Level button increase/decrease power

Questo diagramma descrive il comportamento di un bottone a livelli, di cui si definisce un modello generale che verrà poi utilizzato per gestire i bottoni di aumento e diminuzione della potenza.

- **b** Rilevazione del sensore.
- **DURATION** Durata della rilevazione a livelli.
- **b\_long** Variabile di output che rappresenta la rilevazione a livelli.

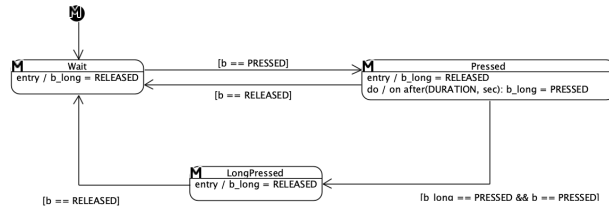


Figura 16: State diagram che modella il comportamento del bottone a livelli.

### 1.4.3 Level button ON/OFF

Il diagramma di seguito riportato descrive invece nello specifico del bottone di ON/OFF che, a differenza del caso precedente del bottone a livelli, assume un comportamento diverso a seconda che venga premuto quando il fornello è acceso o spento. Indichiamo come:

- **b** Segnale letto dal bottone a monte.
- **work** Segnale in uscita da questo componente che va direttamente in ingresso al core principale.
- **RELEASED** Valore del segnale di input letto quando il bottone non è premuto.
- **PRESSED** Valore del segnale di input letto quando il bottone è premuto.
- **DURATION** Tempo di pressione necessario.

Il funzionamento è diviso principalmente in due, in quanto questo bottone deve assumere un comportamento differente a seconda che a valle vi sia il fornello acceso o spento. In particolare, se il fornello è spento è sufficiente una singola pressione del bottone fisico per accendere il sistema, viceversa è necessario che il bottone sia premuto per almeno un certo periodo di tempo prima che il sistema venga spento. Questo giustifica la divisione in due macro-stati INACTIVE ed ACTIVE, nei quali si transita mutuamente solo nel momento in cui il bottone fisico viene rilasciato, onde evitare loop di accensione-spegnimento.

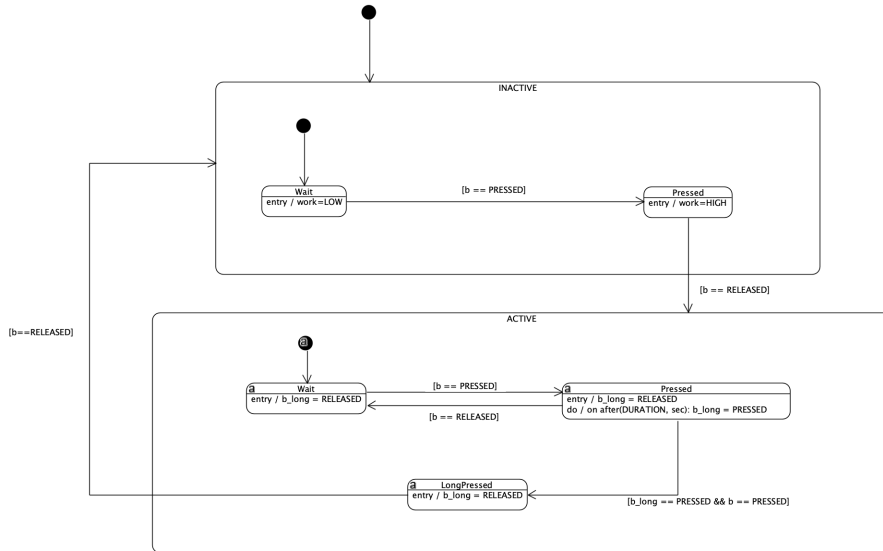


Figura 17: State diagram che modella il comportamento del bottone di ON/OFF.

#### 1.4.4 Toggling LED

Infine, per modellare il LED che deve effettuare il toggling, è stato progettato il seguente diagramma:

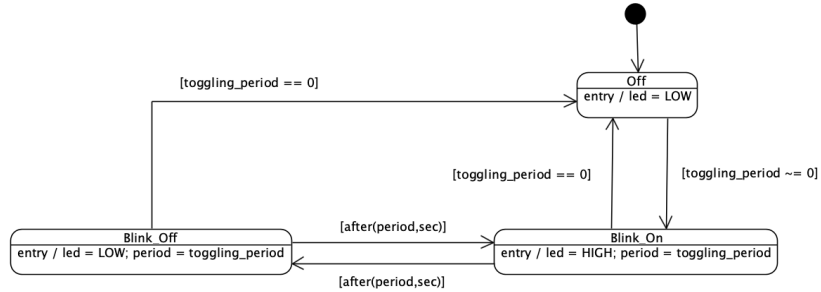


Figura 18: State diagram che modella il comportamento del toggling LED.

Il comportamento di questo modello è elementare, l'unica scelta progettuale da commentare è il caso in cui durante il blink avviene un cambiamento di periodo: in tale caso (a meno che non si tratti di disattivazione) si è deciso di terminare il periodo corrente effettuando il cambio di stato prima di dare impostazione effettiva del nuovo periodo (quindi cambiare la frequenza di variazione).

## 2 Implementazione

In questo capitolo riportiamo la descrizione di quanto implementato in Stateflow a seguito della progettazione eseguita. Andremo ad analizzare dapprima il modello ottenuto nel suo complesso, dettagliandone man mano i singoli componenti.

### 2.1 Descrizione del modello Stateflow

In una prima fase, si è effettuata quasi la copia 1:1 del diagramma di stato descritto nel capitolo precedente e, successivamente, sono state apportate delle piccole modifiche che sono risultate essere necessarie o in fase di verifica del corretto funzionamento del modello ottenuto in Simulink, o a seguito dei test che sono stati effettuati. Tuttavia, la struttura generale del modello non ha subito grosse variazioni.

#### 2.1.1 Induction Cooker Control System

Il sistema di controllo del fornello a induzione presenta i seguenti componenti:

- un'istanza del bottone di accensione e spegnimento,
- due istanze del bottone a livelli (una per l'aumento ed una per la diminuzione della potenza),
- un'istanza del core del fornello a induzione,
- un'istanza del toggling led.

Gli input forniti sono:

- *pot\_presence*, segnale che indica la presenza/assenza della pentola sul fornello,
- *b*, segnale che indica pressione/rilascio del pulsante di accensione e spegnimento,
- *b<sub>1</sub>*, segnale che indica pressione/rilascio del pulsante di aumento della potenza,
- *b<sub>2</sub>*, segnale che indica pressione/rilascio del pulsante di diminuzione della potenza.

Gli output sono invece:

- *alert\_led*, segnale che determina l'accensione/spegnimento del LED rosso di allarme,
- *power\_led*, segnale che determina l'accensione/spegnimento del LED giallo che indica che il fornello è in funzione ed il cui periodo di toggling è indice della potenza erogata,
- *onoff\_led*, segnale che determina l'accensione/spegnimento del LED verde che indica se il fornello è acceso o spento.

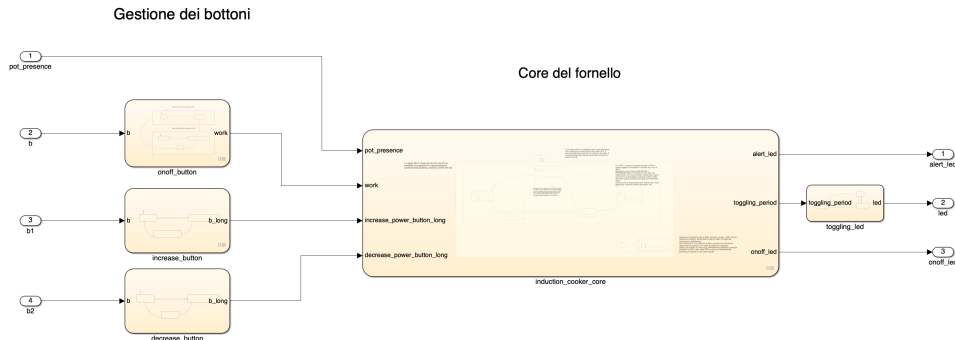


Figura 19: Vista generale del sistema di controllo del fornello a induzione.



### 2.1.2 ON/OFF button

Entriamo dunque nel merito del bottone di accensione/spegnimento del fornello. L'input del componente è costituito dal segnale di pressione del rispettivo pulsante, mentre in output restituisce 1 in caso il fornello debba essere acceso, 0 in caso debba essere spento, come valore assegnato alla variabile di uscita *work*. Per questo particolare componente abbiamo previsto l'introduzione di due super-stati: *INACTIVE* e *ACTIVE*.

Lo stato iniziale è *INACTIVE*, esso comprende al suo interno due sotto-stati, che sono *Wait* e *Pressed*. Alla pressione del pulsante, si passa nello stato *Pressed*, che si occupa di porre *work* ad 1. Quando il bottone viene rilasciato, si attiva una super-transizione che porta il componente nello stato di *ACTIVE*.

Nello stato di *ACTIVE* il componente si comporta come un pulsante a livelli, infatti non attende più una pressione impulsiva, ma una di durata almeno pari a *DURATION* secondi per poter spegnere il fornello. Quando entra in *ACTIVE*, si trova nello stato di *Wait*. Se il pulsante viene premuto, si porta nello stato di *Pressed*, in attesa che siano passati *DURATION* secondi. Se nel frattempo il pulsante viene rilasciato, torna in *Wait* e non accade nulla, altrimenti, superata la durata prestabilita, va in *LongPressed* e *work* viene messo a 0. Dopodiché al rilascio, si attiva una super-transizione che fa passare il componente nello stato di *INACTIVE*.

Le super transizioni inserite permettono di switchare tra gli stati di *INACTIVE* ed *ACTIVE* solo nel momento in cui, avviene un rilascio del bottone fisico. Tale particolarità è stata necessaria per poter evitare che una pressione prolungata del bottone permettesse di accendere e spegnere la macchina nel momento in cui il bottone non viene rilasciato immediatamente dopo la variazione di stato.

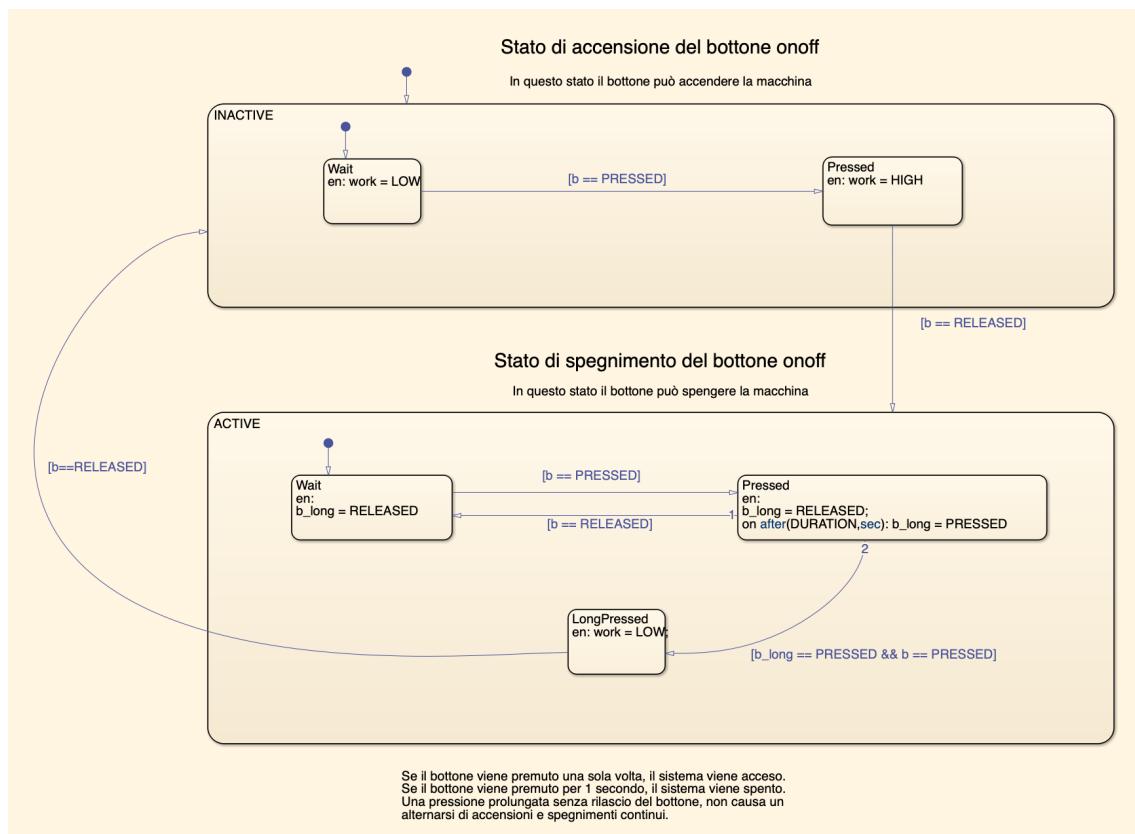


Figura 20: ON/OFF button.

### 2.1.3 Increase/Decrease button

Il componente in questione viene istanziato sia per modellare il pulsante di incremento, che di decremento della potenza. Esso modella, infatti, il comportamento di un pulsante a livelli, ed è molto simile a quello descritto in precedenza, ma è più semplice. Si parte dallo stato di *Wait*, dopodiché, non appena il pulsante di incremento (o di decremento) viene premuto, si passa in *Pressed*. Dallo stato di *Pressed*, se il pulsante è rilasciato prima che l'intervallo di tempo prestabilito sia trascorso, si passa in *Wait*, altrimenti allo scadere del tempo, si va in *LongPressed*. Sulla transizione che effettua il passaggio di stato in questione abbiamo come condizione che il pulsante sia stato premuto a lungo: *b.long* viene messo a *PRESSED* nel momento in cui termina il tempo di attesa prestabilito e funge anche da valore di output del bottone, che viene fornito in input al fornello per scatenare un incremento o un decremento della potenza a seconda della particolare istanza del componente. Si può quindi notare che il valore di questo bottone a livelli sarà alto soltanto nell'istante di campionamento in cui saranno passati i secondi prestabiliti.

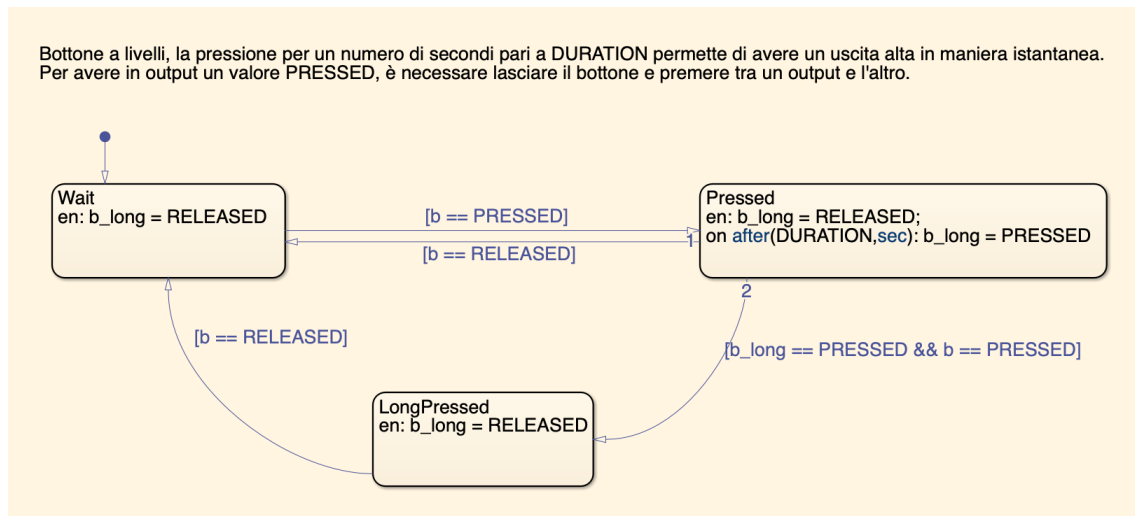


Figura 21: Increase/Decrease button.

### 2.1.4 Toggling LED

Questo componente modella il comportamento del led che indica che il fornello è attivo ed in particolare, con il suo periodo di toggling, indica anche la potenza attualmente erogata dal fornello. L'input per tale componente è il *toggling\_period*, mentre l'output è il segnale che indica l'attivazione o disattivazione del LED denominato *powered* addetto al lampeggio. Lo stato iniziale è quello di *Off*. Permane in questo stato fino a quando il *toggling\_period* non diventa diverso da 0. Non appena ciò accade, si attiva lo stato di *Blink\_On* e l'output viene messo ad 1 in modo tale da scatenare l'accensione dell'apposito LED.

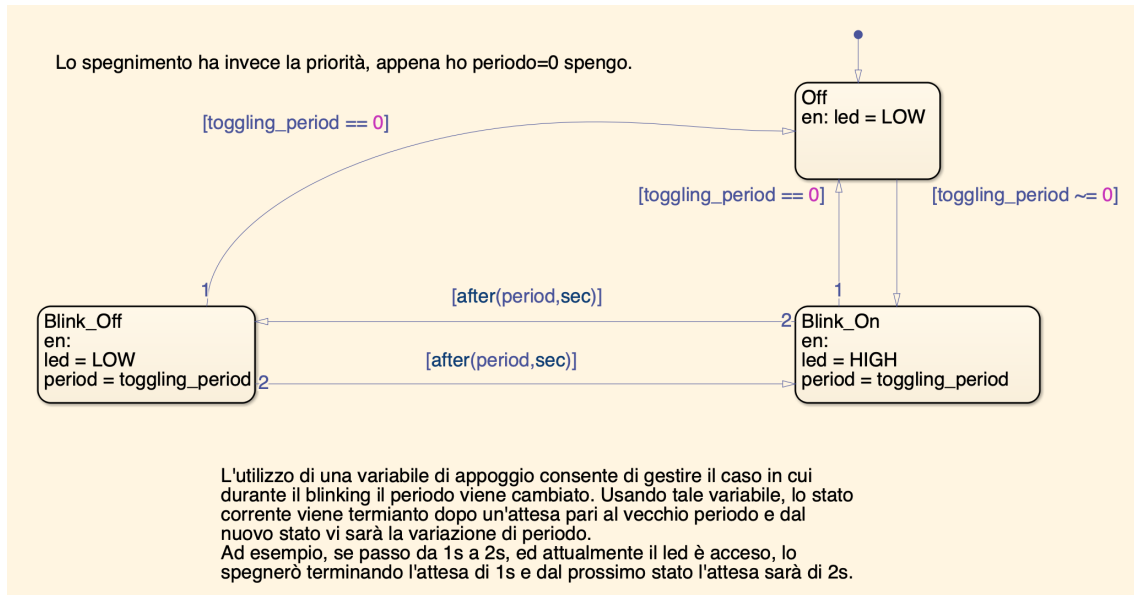


Figura 22: Toggling LED.

Per ottenere il toggling, si attivano a turni alterni le transizioni che vanno da *Blink\_On* verso *Blink\_Off* e viceversa, determinando rispettivamente lo spegnimento e l'accensione del LED ad ogni periodo. La variabile di appoggio *period* consente di gestire il caso in cui, durante il blinking, il periodo di lampeggio subisce una variazione. L'effetto ottenuto in questo modo è quello di terminare l'esecuzione lo stato corrente con il periodo vecchio ed aggiornare il nuovo solo dopo il passaggio allo stato successivo.

Si noti, inoltre, l'utilizzo mirato dell'ordinamento che Stateflow fa delle transazioni. Infatti, si è data priorità allo spegnimento del led (transizione avente come condizione *toggling-period == 0*) rispetto a quella di blink.

### 2.1.5 Induction Cooker Core

Arriviamo dunque alla descrizione della parte 'centrale' del modello. In maniera molto intuitiva si sono utilizzati due super-stati principali, ovvero *OFF* ed *ON*, che rappresentano rispettivamente il comportamento del fornello da spento e da acceso.

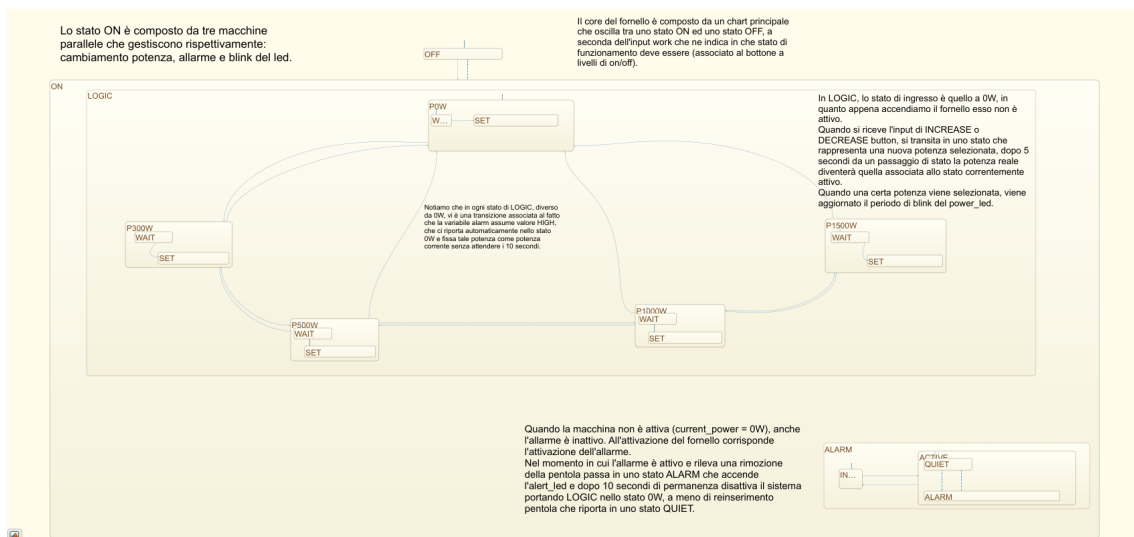


Figura 23: Induction Cooker Core.

Passiamo quindi in rassegna le varie parti del *core*, facendo di volta in volta zoom in, in modo tale da inquadrarle bene. Lo stato iniziale è quello di *OFF*, in cui il fornello è spento.

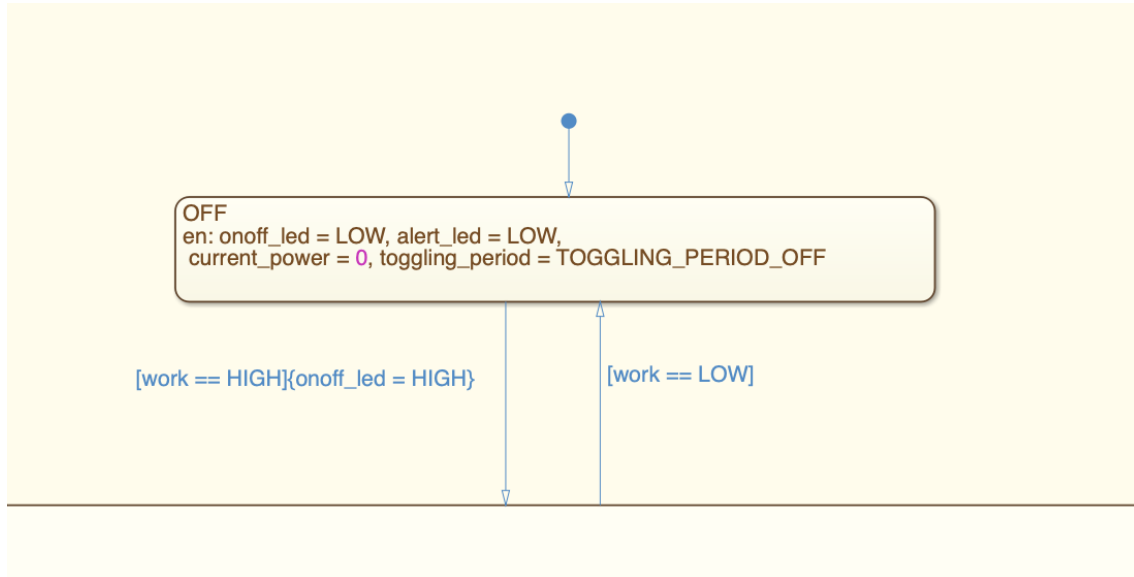


Figura 24: Stato di OFF.

Chiaramente, poiché il fornello è spento, non abbiamo alcun led acceso, la potenza erogata è nulla ed anche il periodo di toggling corrente. Affinché possa essere acceso, è necessario che gli arrivi in input dal modulo del bottone di ON/OFF la variabile *work* settata a 1. Non appena ciò si verifica, l'azione associata alla transizione adibita a tale scopo, si occupa di scatenare l'accensione del LED verde che indica che il fornello è acceso. A questo punto, si entra nello stato di *ON*, in cui il fornello è effettivamente acceso. In questo stato abbiamo il sotto-stato di *LOGIC* di cui ora andremo a descrivere i singoli componenti, ed il sotto-stato di *ALARM* in parallelo ad esso.

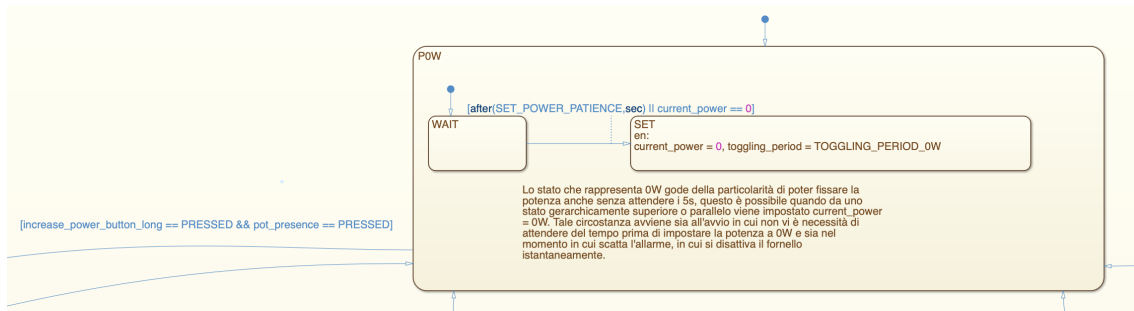


Figura 25: Stato di ON. Potenza erogata di 0 W.

Il fornello è acceso, ma non è attivo, ed infatti la potenza erogata è ancora di 0 W, come è possibile evincere dal nome dello sotto-stato iniziale contenuto in *ON*, ossia *POW*. Tale sotto-stato, è a sua volta super-stato di una coppia di stati: *Wait* e *SET*. Teniamo bene a mente questa configurazione perché sarà ripetuta anche negli altri sotto-stati di *ON* che verranno descritti di seguito. All'ingresso in *WAIT*, resta in attesa per un periodo pari a *SET\_POWER\_PATIENCE*, dopodiché va in *SET*, dove vengono configurati i parametri di quello stato (in questo caso specifico non ci sono cambiamenti percettibili perché il fornello è ancora inattivo).

Quando si verifica una pressione prolungata del pulsante di incremento della potenza, dallo stato con potenza di 0 W, si va in quello con potenza 300 W. Eventuali pressioni del pulsante di decremento della potenza, non hanno invece alcun effetto.

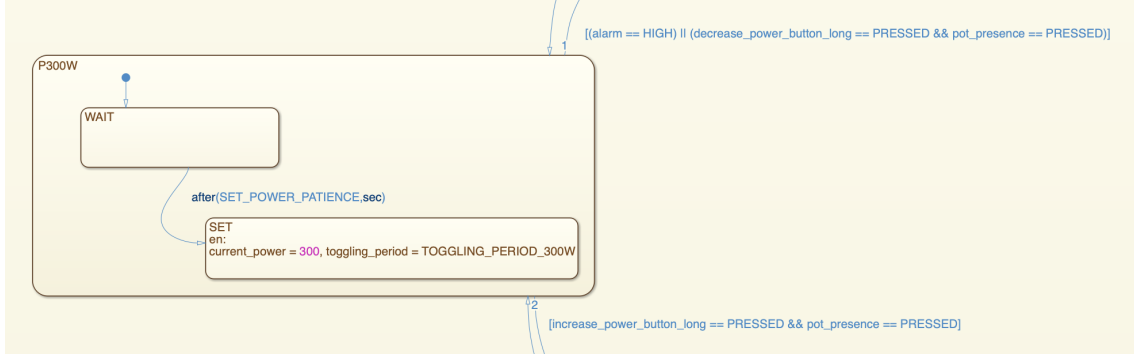


Figura 26: Stato di ON. Potenza erogata di 300 W.

All'ingresso del super-stato *P300W*, il sistema resta in attesa per un tempo pari a *SET\_POWER\_PATIENCE* secondi nel sotto-stato di *WAIT*. Successivamente, si attiva la transizione che lo porta in *SET*, dove vengono configurati i parametri caratteristici dello stato attuale, ovvero la potenza erogata corrente di 300 W ed il periodo di toggling di 2 secondi che corrisponde a quella potenza erogata. A partire da questo stato, si può:

- tornare in *P0W* se o scatta l'allarme (dovuto ad una rimozione improvvisa della pentola) o si verifica la pressione del pulsante di diminuzione della potenza per la durata di 1 secondo,
- andare in *P500W* se si verifica la pressione del pulsante di aumento della potenza per la durata di 1 secondo.

Ipotizziamo di trovarci nella seconda situazione, che è più interessante ai fini della descrizione del modello. All'ingresso del super-stato *P500W*, il sistema resta in attesa per un tempo pari a *SET\_POWER\_PATIENCE* secondi nel sotto-stato di *WAIT*. Successivamente, si attiva la transizione che lo porta in *SET*, dove vengono configurati i parametri caratteristici dello stato attuale, ovvero la potenza erogata corrente di 500 W ed il periodo di toggling di 1 secondo che corrisponde a quella potenza erogata.

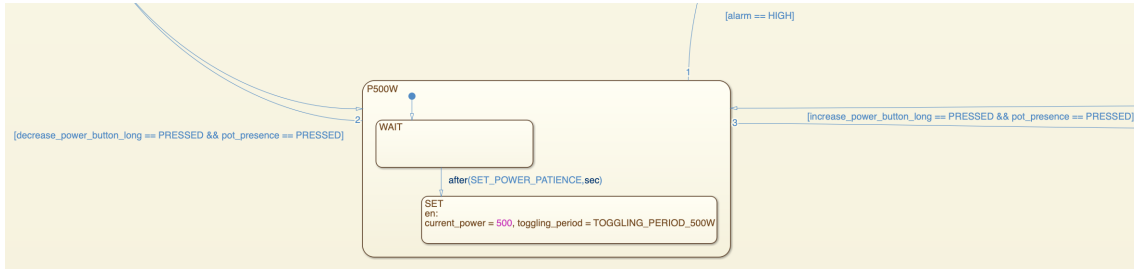


Figura 27: Stato di ON. Potenza erogata di 500 W.

A partire da questo stato, si può:

- tornare in *P0W* se o scatta l'allarme (dovuto ad una rimozione della pentola prolungata per 10 secondi),
- tornare in *P300W* se si verifica la pressione del pulsante di diminuzione della potenza per la durata di 1 secondo,
- andare in *P1000W* se si verifica la pressione del pulsante di aumento della potenza per la durata di 1 secondo.

Ancora una volta, immaginiamo che si verifichi l'ultima situazione descritta. All'ingresso del super-stato *P1000W*, il sistema resta in attesa per un tempo pari a *SET\_POWER\_PATIENCE* secondi nel sotto-stato di *WAIT*. Successivamente, si attiva la transizione che lo porta in *SET*,

dove vengono configurati i parametri caratteristici dello stato attuale, ovvero la potenza erogata corrente di 1000 W ed il periodo di toggling di 0.5 secondi, che corrisponde a quella potenza erogata.

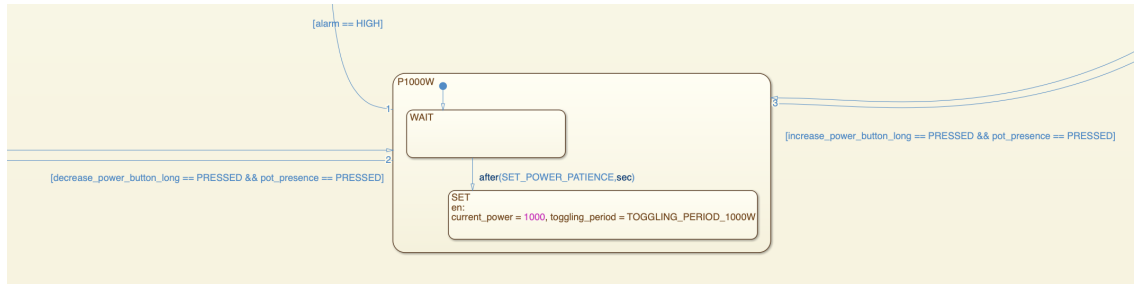


Figura 28: Stato di ON. Potenza erogata di 1000 W.

A partire da questo stato, si può:

- tornare in *P0W* se o scatta l'allarme (dovuto ad una rimozione improvvisa della pentola),
- tornare in *P500W* se si verifica la pressione del pulsante di diminuzione della potenza per la durata di 1 secondo,
- andare in *P1500W* se si verifica la pressione del pulsante di aumento della potenza per la durata di 1 secondo.

Immaginiamo di nuovo di aumentare la potenza. All'ingresso del super-stato *P1500W*, il sistema resta in attesa per un tempo pari a *SET\_POWER\_PATIENCE* secondi nel sotto-stato di *WAIT*. Successivamente, si attiva la transizione che lo porta in *SET*, dove vengono configurati i parametri caratteristici dello stato attuale, ovvero la potenza erogata corrente di 1500 W ed il periodo di toggling di 0.25 secondi, che corrisponde a quella potenza erogata. Da questo stato è possibile:

- tornare in *P0W* se scatta l'allarme (dovuto ad una rimozione improvvisa della pentola),
- tornare in *P1000W* se si verifica la pressione del pulsante di diminuzione della potenza per la durata di 1 secondo.

Ulteriori pressioni del pulsante di incremento della potenza non hanno alcun effetto, avendo raggiunto il limite massimo consentito di potenza erogata.

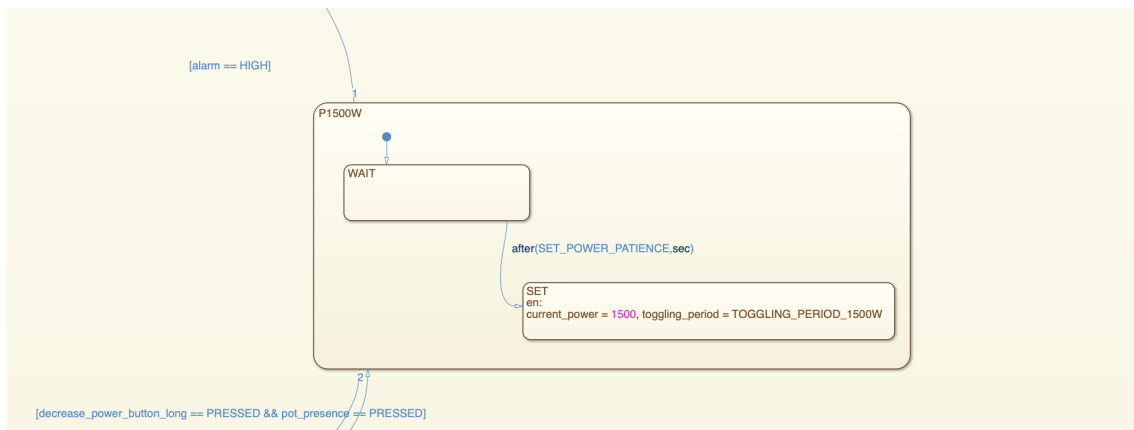


Figura 29: Stato di ON. Potenza erogata di 1500 W.

A partire da ciascuno stato interno del super-stato *ON*, in qualsiasi momento venga premuto il pulsante di spegnimento per la durata di un secondo, viene scatenato un passaggio immediato in *OFF*, con conseguente spegnimento del sistema.

### 2.1.6 Alarm

Andiamo a descrivere quindi il funzionamento di *ALARM*, che è un sotto-stato di *ON* parallelo a *LOGIC*.

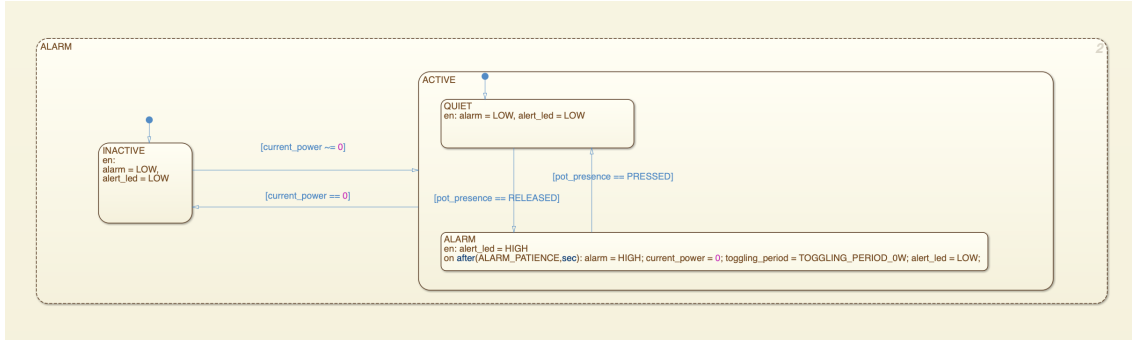


Figura 30: Stato di ON. Allarme.

Lo stato di *ALARM* entra in funzione all'attivazione di *ON* e presenta due sottostati:

- *INACTIVE* che è quello iniziale, in cui resta fino a che la potenza erogata non diventa diversa da 0 e dove il LED di allarme è spento ed il segnale di allarme è basso,
- *ACTIVE*, in cui entra non appena viene erogata potenza non nulla. In questo stato, abbiamo ulteriori due sotto-stati:
  - *QUIET*, dove il LED di allarme è ancora spento ed il segnale di allarme è ancora basso (il che vuol dire che, sebbene il fornello sia attivo e stia erogando potenza, non si è verificata alcuna inavvertita rimozione della pentola),
  - *ALARM*, che si attiva non appena viene ricevuto l'apposito segnale che indica la rimozione della pentola mentre il fornello era in funzione. In tale stato, viene acceso il LED di allarme e, dopo un tempo pari ad *ALARM\_PATIENCE* secondi, viene messo alto il segnale di allarme in modo tale che nello stato parallelo *LOGIC*, si possa tornare in *POW*, disattivando l'erogazione di potenza del fornello ed inoltre vengono spenti tutti i LED tranne il verde che indica che il fornello è acceso. Se invece, viene rilevato il posizionamento della pentola, si torna nello stato di *QUIET*.

Chiaramente, in qualsiasi momento il fornello venga disattivato nello stato parallelo *LOGIC* (e quindi si trovi nel sotto-stato *POW*), avviene una transizione di *ALARM* nello stato di *INACTIVE*.

### 2.1.7 Simulink Setup

Al fine di facilitare l'integration testing dei componenti, il sistema di controllo del fornello a induzione (inteso come l'insieme dei vari moduli Stateflow sopra descritti) è stato racchiuso in un unico blocco sotto-sistema, rappresentato in grigio, il quale presenta: un ingresso per il sensore di presenza, un ingresso per ogni pulsante ed un'uscita per ogni LED. Il sensore di presenza è stato simulato utilizzando un *Toggle Switch*, i tre bottoni utilizzando dei *Push Buttons* ed i tre LED con delle *Lamps*, tutti presi dalla libreria *Simulink*. Tale Setup ha consentito la verifica dell'effettivo funzionamento del modello implementato, per mezzo di simulazioni effettuate nell'ambiente Simulink stesso.

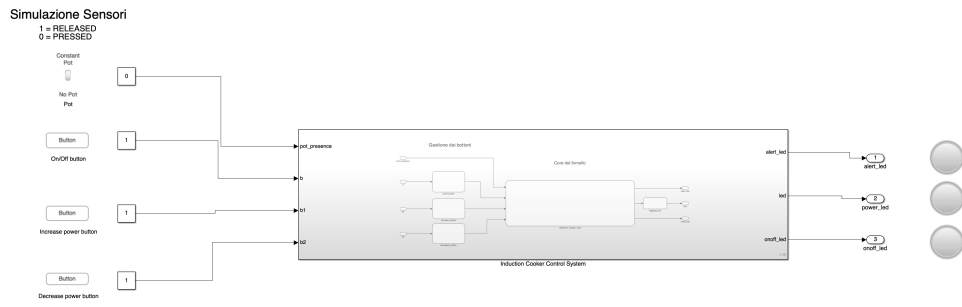


Figura 31: Simulink Setup.



## 3 Validazione

### 3.1 Descrizione degli scenari di test realizzati in Stateflow

Procediamo con la descrizione del processo di validazione che è stato attuato sui singoli componenti del sistema e, successivamente, alla descrizione dei test integrativi per la verifica della corretta interazione tra gli stessi. La maggior parte degli unit test fatti sui singoli componenti sono un mapping 1:1 con ciò che è stato descritto negli activity diagram presentati nel capitolo precedente.

#### 3.1.1 Test ON/OFF button

Per questo componente sono stati previsti più scenari in maniera tale da prendere in considerazione sequenze corrette o meno, poiché il corretto funzionamento dello stesso si è ritenuto particolarmente significativo.

**Complete Behavior** Tale scenario tocca i vari aspetti del chart. In particolare viene presa in considerazione una sequenza di passi che va a toccare ogni transizione inserita andando a:

- Accendere il sistema.
- Fare un primo tentativo di accensione, ma con pressione troppo corta.
- Spegnerne il sistema dopo una corretta pressione.
- Ritornare in uno stato di attesa per l'accensione del sistema.

**Legit Behavior** Questo scenario descrive quello che dovrebbe essere un normale ciclo di funzionamento, ovvero il sistema viene acceso premendo il pulsante fisico, successivamente viene rilasciato il pulsante e alla nuova pressione (prolungata, in questo caso) viene spento.

**Wrong Pression Behavior** In quest'ultimo scenario si considera una sequenza di step che è insolita per il funzionamento che dovrebbe avere il componente. Ovvero, il bottone viene correttamente acceso, ma quando si va a fare una seconda pressione per lo spegnimento, tale pressione non avviene per il tempo minimo necessario.

#### 3.1.2 Test Increase/Decrease Buttons

I bottoni di aumento e diminuzione della potenza hanno la stessa tipologia di comportamento e sono istanze del medesimo componente, per cui i test sono stati fatti per uno di essi, ipotizzando che l'altro non differisca, se non per la semantica dell'output fornito. Vediamo di seguito i diversi scenari di utilizzo in cui è stato testato il componente.

**General** Abbiamo un primo scenario generico in cui:

- prima effettuiamo il passaggio del componente dallo stato iniziale di *Wait*, allo stato di *Pressed* per testare la rilevazione di una pressione istantanea e rilasciamo il pulsante prima di andare in *LongPressed* per verificare che l'output del componente sia ancora alto (deve infatti segnalare la pressione solo se essa ha almeno la durata di 1 secondo),
- successivamente, dopo aver rilasciato il pulsante, effettuiamo nuovamente una pressione, stavolta per una durata superiore ad 1 secondo, in modo da testare che l'output del componente diventi basso (per segnalare che è avvenuta la pressione prolungata di interesse al modulo a cui va in input) e che il componente entri nello stato di *LongPressed*, dal quale uscirà al rilascio del pulsante.

**Correct Behavior** Abbiamo poi considerato il caso di semplice utilizzo '*corretto*' del componente, in cui viene effettuata direttamente la pressione lunga e quindi, una volta premuto il pulsante per una durata di almeno 1 secondo, l'output del componente venga messo basso fino al rilascio dello stesso e, di conseguenza, all'uscita dallo stato di *LongPressed*.

**Early Release** Separatamente abbiamo testato il caso specifico in cui il componente non resti premuto per tempo sufficiente a determinare un long press.

**Late Release** In maniera simmetrica al caso precedente, è anche stato considerato lo scenario in cui il bottone restasse premuto per un tempo superiore a quello necessario a determinare un long press.

### 3.1.3 Test Toggling LED

Per quanto riguarda il test del componente di toggling del led si è ritenuto sufficiente effettuare un unico scenario di test che toccasse i vari punti del chart.

**Complete Behavior** In questo scenario si va a verificare il comportamento del componente nel momento in cui i periodi utilizzati variano, in particolare identificando la classe dei periodi minore di uno e la classe dei periodi maggiori di 1 fino allo spegnimento del sistema con l'input di periodo nullo. Similmente, la verifica di tale sequenza, consiste nel verificare se nel tempo di gestione di quel periodo il led si comportava come da specifica, ovvero andando ad effettuare un blink ogni qual volta trascorre il periodo specificato.

### 3.1.4 Test Induction Cooker Core

**Turn ON/OFF** In questo scenario di test si testa la semplice messa in funzione del fornello e il successivo spegnimento. Si andrà a verificare l'effettiva accensione dell'ON/OFF LED (led verde) e che gli altri rimangano spenti. Dopodiché si controllerà, dopo l'input per lo spegnimento, tutti i led siano effettivamente spenti.

**Increase/Decrease Power** In questo scenario di test si andrà a verificare che tutti i livelli di potenza siano effettivamente raggiungibili e che producano gli effetti sperati. In particolare, inizialmente il sistema viene acceso e dunque giunge automaticamente in modalità 0W, si controlla che solo il led verde è acceso, dopodiché simulando la pressione prolungata del pulsante increase power si passa prima alla modalità di 300W, poi alle modalità 500W, 1000W e 1500W. Nel passaggio tra una modalità e l'altra si controlla che passino effettivamente 5 secondi per poter rendere effettivo il cambiamento di potenza. Inoltre, per ogni modalità di potenza si controlleranno i periodi di blinking appropriati per quella modalità di potenza. Una volta giunti alla potenza di 1500W, si ripetono in modo analogo i controlli da eseguire quando si decrementerà la potenza fino a 0W.

**Pot removed while cooking** In questo scenario di test viene verificata l'effettivo funzionamento del sistema di allarme quando si sta cucinando. In particolare, quando la pentola viene rimossa e la potenza corrente è maggiore di 0W, ci si accerta che venga acceso il led di allarme e, dopo 10 secondi, se la pentola non viene riposizionata viene verificato che il sistema giunga nella modalità 0W.

### 3.1.5 Test Integration

Per quanto riguarda i test di integrazione, abbiamo considerato svariati scenari di utilizzo del fornello ad induzione, verificando se in ciascuno dei casi il comportamento era quello effettivamente desiderato.

**Turn ON/OFF** Il primo scenario di test che vediamo è quello di accensione e spegnimento corretto del fornello.

- Il fornello è inizialmente spento e lo è anche il LED verde di accensione. Dopodiché, con pressione istantanea dell'apposito pulsante, il fornello si accende ed anche il LED verde. Quando il pulsante è rilasciato LED e fornello sono entrambi accesi.
- Successivamente il pulsante viene premuto per la durata di 1 secondo, il fornello viene spento e con esso anche il LED verde di accensione.

**Increase Power** In questo scenario di test andiamo a verificare che la funzionalità di incremento della potenza richiesta tramite l'apposito bottone effettivamente funzioni.

- Inizialmente il fornello è spento.
- Con l'apposito pulsante ne viene richiesta l'accensione. Il fornello viene acceso e con esso anche il LED verde.
- Posizionata la pentola, si richiede l'attivazione del fornello con una pressione prolungata del pulsante di aumento di potenza.
- Dopo 5 secondi verifichiamo che il cambiamento di potenza sia diventato effettivo. Il LED giallo si accende.
- Facciamo pressione per 1 secondo sul pulsante di aumento potenza, per richiedere l'incremento da 300 W a 500 W.
- Per la durata dei 5 secondi di attesa in cui il fornello eroga ancora una potenza di 300 W, verifichiamo ogni 2 secondi (periodo di lampeggio associato a tale potenza di erogazione) che il LED commuti da acceso e spento e viceversa.
- Dopo 5 secondi verifichiamo che il cambiamento di potenza sia diventato effettivo.

**Decrease Power** In questo scenario di test andiamo a verificare che la funzionalità di decremento della potenza richiesta tramite l'apposito bottone effettivamente funzioni.

- Inizialmente il fornello è spento.
- Con l'apposito pulsante ne viene richiesta l'accensione. Il fornello viene acceso e con esso anche il LED verde.
- Posizionata la pentola, si richiede l'attivazione del fornello con una pressione prolungata del pulsante di aumento di potenza.
- Dopo 5 secondi verifichiamo che il cambiamento di potenza sia diventato effettivo. Il LED giallo si accende.
- Facciamo pressione per 1 secondo sul pulsante di decremento potenza, per richiedere il decremento da 300 W a 0 W.
- Per la durata dei 5 secondi di attesa in cui il fornello eroga ancora una potenza di 300 W, verifichiamo ogni 2 secondi (periodo di lampeggio associato a tale potenza di erogazione) che il LED commuti da acceso e spento e viceversa.
- Dopo 5 secondi verifichiamo che il cambiamento di potenza sia diventato effettivo.

**Change power while waiting** In questo scenario di test proviamo a verificare il caso in cui è stata richiesta una variazione di potenza (incremento o decremento) e si è in fase di attesa, e sopraggiunge una nuova richiesta di variazione di potenza.

- Il fornello è spento e lo sono anche tutti i LED.
- Il fornello viene acceso e si accende il LED verde.
- Viene richiesto un aumento della potenza. Il fornello entra nella fase di attesa di convalida della nuova potenza di erogazione richiesta per la durata di 5 secondi.
- Durante l'attesa, sopraggiunge una nuova richiesta di incremento della potenza (equivalentemente si poteva trattare anche di un decremento).
- Il timer di 5 secondi viene riavviato ed al termine si verifica il cambiamento della potenza nell'ultima richiesta.

**Both increase and decrease buttons pressed** In questo scenario di test proviamo a verificare il caso in cui il bottone di aumento, che di diminuzione della potenza vengano premuti contemporaneamente. Per come è stato modellato il sistema, dovrebbe in tale situazione (ed è quello che effettivamente accade) avere la priorità il decremento della potenza.

- Il fornello è inizialmente spento e tutti i LED sono spenti.
- Viene premuto il pulsante di accensione del dispositivo e si accende il LED verde.
- Viene richiesto l'aumento della potenza. Dopodiché, a seguito dell'intervallo di attesa pre-stabilito di 5 secondi, avviene il cambiamento effettivo della potenza ed il fornello inizia ad erogare con una potenza pari a 300 W ed il LED effettua il toggling con un periodo di 2 secondi.
- Vengono poi premuti contemporaneamente il pulsante di incremento e di decremento della potenza.
- Durante il periodo di attesa, il LED giallo continua ad effettuare il toggling con un periodo pari a quello corrispondente alla potenza che stava erogando prima delle richieste di cambiamento della potenza.
- Al termine, la potenza confermata è quella di 0 W ed effettivamente ciò è compatibile con quanto ipotizzato inizialmente.

**Pot removed while cooking** In questo scenario di test viene verificato il corretto funzionamento dell'allarme sul dispositivo onnicomprensivo di tutti i componenti.

- Dapprima si verifica che il dispositivo, senza ricevere alcun input abbia tutti i led spenti.
- Il dispositivo viene acceso e viene verificato che solo il led verde sia acceso.
- Viene premuto il pulsante increase power per almeno 1 secondo. In questo arco di tempo viene verificato che non succeda nulla.
- Dopo che è passato un secondo, viene rilasciato il pulsante di incremento potenza e si aspettano 5 secondi.
- Dopo questi 5 secondi, si verifica che che il led di blinking sia acceso in quanto ci troviamo nella modalità 300W.
- In seguito, viene rimossa la pentola e si verifica che, a valle della rimozione, si accenda il led di errore.
- Dopo questa prima rimozione si attende un periodo di tempo inferiore ai 10 secondi e si verifica che il led di errore si spenga e che il dispositivo continui a funzionare nella modalità di potenza 300W.
- In seguito, verrà eseguita una nuova rimozione della pentola, vengono eseguiti gli stessi controlli solo che stavolta si aspetterà un periodo superiore ai 10 secondi.
- Si verifica quindi che il dispositivo è tornato nella modalità 0W vedendo lo stato dei led: solo il led verde dovrà essere acceso.

## 4 Deploy del firmware

Per effettuare il deploy del modello progettato sul dispositivo si è fatto uso dei blocchi *Digital Read* e *Digital Write* rispettivamente per leggere gli ingressi digitali dei bottoni e per scrivere le uscite digitali dei led, appartenenti alla libreria *Simulink Coder Support Package for STMicroelectronics Nucleo Boards*.

### 4.1 Pin utilizzati

La board utilizzata è la *STM32 Nucleo-64 development board* avente l'MCU *STM32F401RE*. Il mapping dei pin e dei sensori/attuatori è il seguente:

Componente	Pin
<i>onoff_button</i>	PC_13
<i>increase_button</i>	PC_2
<i>decrease_button</i>	PC_3
<i>pot_presence</i>	PC_10
<i>alert_led</i>	PA_7
<i>power_led</i>	PA_6
<i>onoff_led</i>	PA_5

Tabella 1: Mapping delle componenti utilizzate sulle porte della board.

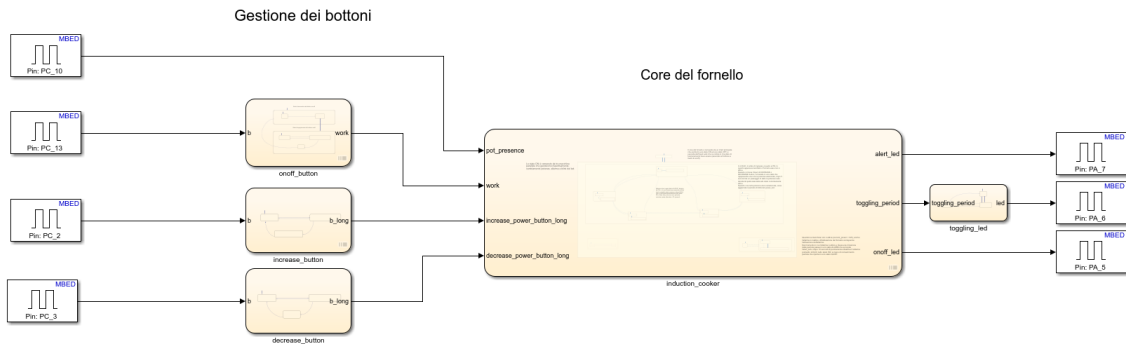


Figura 32: Configurazione del sistema pronto per il deploy

### 4.2 Descrizione degli scenari di test effettuati sul dispositivo

Gli scenari di test eseguiti sulla board seguono pedissequamente i passi descritti nell'activity diagrams. In particolare, una volta eseguito il deploy gli scenari seguiti sono stati i seguenti:

1. Turn ON/OFF [Figura 7]
2. Increase Power [Figura 8]
3. Decrease Power [Figura 9]
4. Usual Behavior [Figura 10]
5. Pot removed while cooking [Figura 11]

In aggiunta sono stati fatti test sporadici quali:

- Pressione dei bottoni di *increase\_power* e *decrease\_power*: come validato anche nei test fatti su Simulink, la precedenza viene data (per motivi di sicurezza) al tasto *decrease\_power*. Si può notare, infatti, che all'interno del modello le transizioni di decremento hanno priorità  $x$ , mentre quelle di incremento priorità  $x + 1$ , dove minore è  $x$  maggiore è la priorità.

- Tentativo di incremento/decremento prima della conferma della precedente: la potenza viene ulteriormente aumentata anche nella fase di attesa, così come da specifiche e da validazioni precedenti.

Repository Github