



# Sviluppo di un contatore elettrico intelligente

Stefano Antonio Labianca

22 Gennaio 2024  
a.a 2023/2024

**matricola:** 758364

**email:** s.labianca10@studenti.uniba.it

*Università degli studi di Bari Aldo Moro  
Caso di Studio per l'esame di Ingegneria della Conoscenza.*

---

## Tabella dei contenuti

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>3</b>
1.1	Dispositivo salvavita . . . . .	3
1.2	Obiettivo del progetto . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Il progetto</b>	<b>4</b>
2.1	Inizializzare il progetto . . . . .	4
2.1.1	Scaricare da GitHub . . . . .	4
2.1.2	Impostare l'ambiente virtuale . . . . .	4
2.1.3	Avviare il progetto . . . . .	6
2.1.4	Avviare un test . . . . .	7
2.2	Struttura del progetto . . . . .	7
2.3	Scelte progettuali . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Argomenti trattati</b>	<b>9</b>
3.1	CSP . . . . .	9
3.1.1	Descrizione generale . . . . .	9
3.1.2	Algoritmi utilizzati . . . . .	9
3.1.3	Analisi delle performance . . . . .	10
3.1.4	Conclusioni . . . . .	13
3.2	Ontologie . . . . .	14
3.2.1	Descrizione generale . . . . .	14
3.2.2	Protégé . . . . .	14
3.2.3	Lavorare sull'ontologia . . . . .	16
<b>4</b>	<b>Troubleshooting</b>	<b>17</b>
4.1	Risolvere il problema di esecuzione con la PowerShell . . . . .	17
4.2	Errore di esecuzione del programma Python . . . . .	18
<b>5</b>	<b>Conclusioni e Sviluppi Futuri</b>	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>Riferimenti Bibliografici</b>	<b>20</b>



Figura 1: Esempio di contatore differenziale

## 1 Introduzione

Nell'arco della nostra giornata, usiamo diversi dispositivi elettronici e, alle volte, anche per diverse ore della giornata o addirittura per tutto il giorno.

Per chi abita nelle zone di campagna, o in abitazioni singole, usare molti dispositivi elettronici contemporaneamente, specialmente se hanno alti consumi o possiedono una classe energetica bassa, fa scattare il salvavita.

### 1.1 Dispositivo salvavita

Il "salvavita", o più propriamente detto interruttore differenziale, è un dispositivo che arresta il flusso di energia elettrica dal contatore di un'abitazione, proteggendo persone e animali.

Questi interruttori, monitorano la differenza di corrente in entrata e in uscita dal dispositivo e, quando la differenza di corrente in entrata e in uscita supera una certa soglia, allora l'interruttore scatta togliendo l'alimentazione al circuito.

## 1.2 Obiettivo del progetto

Il progetto si pone l'obiettivo di sviluppare un programma in grado di svolgere i seguenti task:

1. Determinare da una lista di dispositivi, quali possono tenere accesi contemporaneamente senza che salti il salvavita.
2. Tenere traccia dei dispositivi elettronici e del loro consumo in Watt.
3. Ottenere tutti quei dispositivi che rispettano certi vincoli di consumo energetico.

## 2 Il progetto

### 2.1 Inizializzare il progetto

#### 2.1.1 Scaricare da GitHub

Il primo passaggio è quello di clonare la repository cliccando al seguente link: <https://github.com/Stefano-Labianca/smart-energy-controller>.

#### 2.1.2 Impostare l'ambiente virtuale

Va creato successivamente un ambiente virtuale [3]. In questo modo l'interprete Python, le librerie e gli script installati al suo interno, saranno isolati dagli altri ambienti virtuali e da qualsiasi libreria installata sul proprio sistema.

Per creare l'ambiente virtuale, entrate nella cartella del progetto e digitate il seguente comando:

```
python -m venv .venv
```

Grazie a questo comando, verrà creata una cartella / `.venv` che conterrà tutto il necessario per lavorare con l'ambiente virtuale.

Una volta creato, è necessario attivare l'ambiente virtuale. Se siete in ambiente MacOS o Linux, digitate il comando

```
source .venv/bin/activate
```

Il file `activate` serve per "accendere" l'ambiente virtuale.

Se invece siete in ambiente Windows, allora posizionatevi prima dentro la cartella `./venv/Scripts/` per poi digitare uno dei seguenti comandi, in base al tipo di terminale in uso:

```
activate.bat // Se usi il CMD  
.\Activate.ps1 // Se usi la PowerShell
```

Se invece si sta usando il GitBash, in ambiente Windows, allora il comando da applicare è il seguente:

```
source .venv/Scripts/activate
```

L'ambiente virtuale sarà attivato con successo quando sul vostro terminale avrete qualcosa di simile alla figura 2.

```
(.venv)
Utente@DESKTOP-4KVIMPN MINGW64 /d
$
```

(a) Uso di GitBash

```
Prompt dei comandi
D:\ICON\smart-energy-controller\.venv\Scripts>activate.bat
(.venv) D:\ICON\smart-energy-controller\.venv\Scripts>|
```

(b) Uso del CMD

```
[N] Non eseguire mai [N] Non eseguire [V] Esegui una volta
(.venv) PS D:\ICON\smart-energy-controller\.venv\Scripts> |
```

(c) Uso della PowerShell

Figura 2: Risultato dell’attivazione dell’ambiente virtuale. In figura (a) abbiamo l’uso del GitBash, in figura (b) del CMD mentre infine, nella figura (c), abbiamo l’uso della PowerShell.

In caso di problemi nell’uso della PowerShell, è possibile andare alla sezione: [Risolvere il problema di esecuzione con la PowerShell](#).

### 2.1.3 Avviare il progetto

Per avviare il progetto, bisogna tornare alla directory principale del progetto e installare le dipendenze con il comando:

```
pip install -r requirements.txt
```

Una volta installate, digitare il seguente comando per avviare il programma

```
python main.py
```

In caso di errore, vedere la sezione: [Errore di esecuzione del programma Python](#).

#### 2.1.4 Avviare un test

I test svolti sul programma si trovano tutti nella cartella `/test`. Se si vuole eseguire un test, basta aprire un file, contenuto in una delle sotto-cartelle, prendere il suo contenuto e spostarlo dentro il file `test_main.py`, presente nella root del progetto, dove si potrà eseguire il testo scelto.

## 2.2 Struttura del progetto

All'intero del progetto, possiamo trovare le seguenti cartelle:

- `/.vevn`: Cartella contenente tutto il necessario per lavorare con l'ambiente virtuale.
- `/appliance`: Qui è possibile trovare la classe `Appliance`, che definisce un elettrodomestico, insieme ad una serie di metodi di supporto, contenuti in `appliances_controller.py`. Insieme ad essi, si trovano dei file csv usati per i test del programma.
- `/cli`: Troviamo una classe che incapsula tutta la logica legata agli input e all'output del terminale.
- `/csp_problem`: Questa cartella contiene tutti i file legati all'argomento del CSP.  
Infatti è possibile trovare la rappresentazione delle variabili e dei vincoli, fatta rispettivamente usando le classi `Variable` e `Constraint`.  
Inoltre è presente anche la classe `CSP` usata come wrapper per rappresentare un generico problema di questa categoria.  
Infine è presente la cartella `/algorithm` che contiene le realizzazioni degli algoritmi DFS e GAC usati per risolvere i problemi legati al CSP.
- `/docs`: In questa cartella è possibile trovare la relazione, in formato PDF, del progetto.
- `/knowledge_base`: Contiene una classe usata per rappresentare il Sistema Esperto realizzato.

- `/ontology`: Questa cartella contiene una classe che permette di manipolare l'ontologia contenuta all'intero del file `appliance_ontology.rdf`.
- `/test`: Contiene tutti quei file contenente vari test fatti al programma.
- `/utils`: Contiene file di utilità che facilitano alcune operazioni interne al programma. Per esempio, il file `pagination.py` viene usato per impaginare l'output del programma.

## 2.3 Scelte progettuali

Il progetto è stato svolto usando le versioni 3.11.5 e 3.12.0 di Python in quanto offre diversi miglioramenti e un supporto maggiore alla tipizzazione delle variabili e delle costanti. Usare i tipi, infatti, si è rivelato molto utile per rendere la codebase più resiliente, evitando di assegnare, erroneamente, valori con tipo non corretto per una variabile.

L'uso del design pattern del Singleton si è rivelato utile in quando permette l'uso di una sola istanza globale della classe `ApplianceOntology`. Questa classe è stata usata per rappresentare le informazioni dell'ontologia usata e di manipolarla, tramite operazioni di lettura e scrittura.

L'istanza creata, infatti, viene usata in più parti del programma e, creare istanze differenti fra i vari moduli, rischieremmo di avere istanze non aggiornate ai cambiamenti fatti in altre parti del programma.

Un'altra scelta è stata quella di impaginare [1] i risultati dati dagli algoritmi del CSP. Grazie ad essa, è possibile dividere grandi quantità di dati in blocchi di dimensioni più piccoli e maneggevoli, permettendo anche di scorrere una pagina alla volta.

Infine per l'argomento del CSP [2], sono state usate delle versioni leggermente modificate degli algoritmi DFS e GAC fornite dal libro di testo AIPython, in quando si è scelto di adattarle al problema imposto dal progetto. Non solo, lo stesso vale per le classi `Variable` e `Constraint` dove sono stati presi in considerazione solamente le funzionalità essenziali.



## 3 Argomenti trattati

### 3.1 CSP

#### 3.1.1 Descrizione generale

Un Constraint Satisfaction Problem, o CSP, si pone l'obiettivo di trovare un insieme di assegnamenti totali che rispettano dei vincoli. Ogni assegnamento totale, che rispetta i vincoli dati dal problema, viene considerato come una soluzione al problema.

Un CSP è formato dalle seguenti componenti:

- Insieme finito di variabili;
- Ogni variabile ha un dominio;
- Insieme di vincoli;

I problemi che voglio risolvere sono: trovare quali dispositivi possono accendere contemporaneamente senza superare una certa soglia di consumi, limitare i dispositivi da usare, ...

#### 3.1.2 Algoritmi utilizzati

Tra gli algoritmi presi in considerazione, sono:

- DFS;
- Generalized Arc Consistency;

I due algoritmi, prendono i seguenti approcci.

Il primo vuole rappresentare ogni assegnamento come un albero, dove: la sua altezza è pari al numero di variabili che si stanno considerando e ogni nodo viene rappresentato come un assegnamento ad una variabile.

Il secondo invece, prima di trovare delle soluzioni, crea una rete di archi consistenti. Un arco  $\langle X, c \rangle$ , con  $X$  una variabile e  $c$  un vincolo che ha scope  $\{X, Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$ , si dice consistente se: per ogni valore  $x$  appartenente al dominio della variabile  $X$ , esistono dei valori  $y_1, y_2, \dots, y_n$ , che appartengono

ai domini delle loro corrispettive variabili  $Y_i$ , tali che, l'assegnamento  $\{X = x, Y_1 = y_1, Y_2 = y_2, \dots, Y_n = y_n\}$  mi va a soddisfare il vincolo  $c$ .

Per creare archi consistenti, l'algoritmo andrà ad eliminare, per ogni dominio delle variabili, tutti quei valori che non soddisfano il vincolo  $c$ . In altri termini va a ridurre lo spazio di ricerca, prima di andare a trovare una soluzione.

Inoltre, per aiutare maggiormente la riduzione dello spazio di ricerca, è stato scelto di usare la tecnica del Domain Splitting. In questo modo, il dominio di una variabile viene diviso in due sottodomini per poi eliminare, in entrambi i domini, quei valori che rendono inconsistente un arco  $\langle X, c \rangle$ .

### **3.1.3 Analisi delle performance**

I due algoritmi sono in grado di trovare le soluzioni ad una serie di problemi dati. Adesso vogliamo sapere quale dei due riesce a trovare delle soluzioni in tempi minori medi.

I test sono stati svolti usando un Ryzen 5 3400G, sistema operativo Windows 10 e versione di Python 3.12.0.

## Test 1

Voglio trovare degli assegnamenti in cui i dispositivi, della categoria Multi-media, non vanno a consumare più di 450W.

monitor	laptop	tv	sound_system	phone_charger	internet_router	computer	3D_printer	printer
70	300	150	137	6	30	400	430	30
70	300	150	137	6	30	400	430	70
70	300	150	137	6	50	400	430	30
70	300	150	137	6	50	400	430	70
70	200	150	137	4	10	400	430	30
70	200	150	137	4	10	400	430	70
70	200	150	137	4	30	400	430	30
70	200	150	137	4	30	400	430	70
70	200	150	137	4	50	400	430	30
70	200	150	137	4	50	400	430	70

Figura 3: Esempio di assegnamenti trovati dal DFS

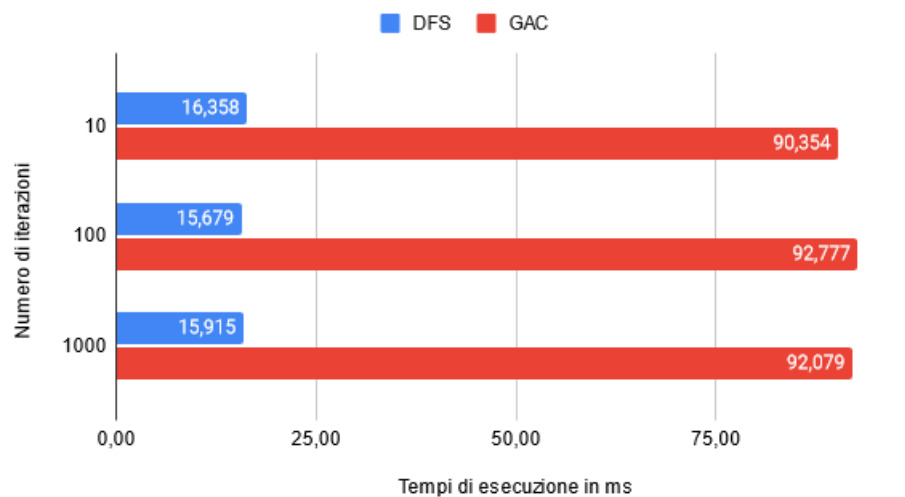
computer	phone_charger	monitor	laptop	internet_router	printer	sound_system	3D_printer	tv
400	4	70	105	10	30	137	430	150
400	4	70	105	10	70	137	430	150
400	4	70	105	30	30	137	430	150
400	4	70	105	30	70	137	430	150
400	4	70	105	50	30	137	430	150
400	4	70	105	50	70	137	430	150
400	4	70	300	10	30	137	430	150
400	4	70	300	10	70	137	430	150
400	4	70	300	30	30	137	430	150
400	4	70	300	30	70	137	430	150

Figura 4: Esempio di assegnamenti trovati dal GAC

Le informazioni sul test sono contenute nel file `/appliance/appliance.csv` e l'esempio mostrato si trova nel file nel `/test/csp/test_1.py`.

Adesso diamo uno sguardo ai loro tempi di esecuzione. Per farlo vado ad eseguire entrambi gli algoritmi 10, 100 e 1000 volte, per poi salvare i tempi medi di esecuzione, tramite la funzione `perf_counter_ns()` [7].

### Test 1 - Tempi medi di esecuzione in ms



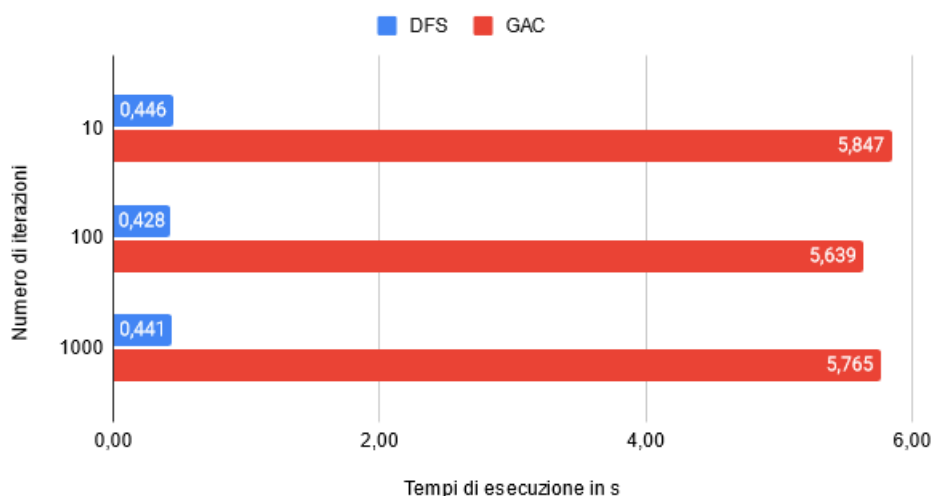
Possiamo notare come, nel primo caso di test, l'uso della DFS impiega, in media, molto meno tempo rispetto al Generalized Arc Consistency.

## Test 2

Prendiamo adesso una situazione di un ambiente casalingo, dove possiamo trovare accesa una friggitrice, il forno, la televisione, insieme al suo impianto audio, il router, un computer fisso con il suo monitor, un caricatore del telefono, un frigo, il freezer e l'aspirapolvere. In questa situazione, non possiamo andare oltre i  $3kW$ .

Le informazioni sul test sono contenute nel file `/appliance/home.csv` e il test dentro `/test/csp/test_2.py`.

### Test 2 - Tempi medi di esecuzione in s



### 3.1.4 Conclusioni

Si può evidenziare da questi due test, come l'uso del GAC sia meno conveniente, in termini di tempo di esecuzione media, rispetto alla DFS. Le motivazioni sono legate alle modalità di ricerca delle soluzioni.

La DFS crea un albero con profondità massima pari al numero delle variabili

del problema e, in caso dovesse trovare un assegnamento parziale che non soddisfa uno o più vincoli, allora usa il backtraking e inizia a creare una nuova diramazione.

Il Generalized Arc Consistency, invece, va a rimuovere dai domini di ogni variabile, tutti quei valori che rendono la rete inconsistente. Questo viene fatto andando a dividere il dominio di una variabile in due suoi sottodomini e, per entrambi, cerca quali valori rendono inconsistente l'arco. Infine, dopo aver eliminato i valori indesiderati, mi determina tutti gli assegnamenti che risolvono il problema.

## **3.2 Ontologie**

### **3.2.1 Descrizione generale**

In informatica, un'ontologia è una rappresentazione formale, condivisa che esplicita una concettualizzazione di un dominio di interesse. In particolare, nell'ambito dell'AI, è una specifica dei significati dei simboli di un sistema informativo.

Quindi specifica quali individui e relazioni esistono, e quale terminologia è usata per descriverli.

### **3.2.2 Protégé**

Lo strumento utilizzato per creare l'ontologia è Protégé [6] usando la versione 5.6.3.

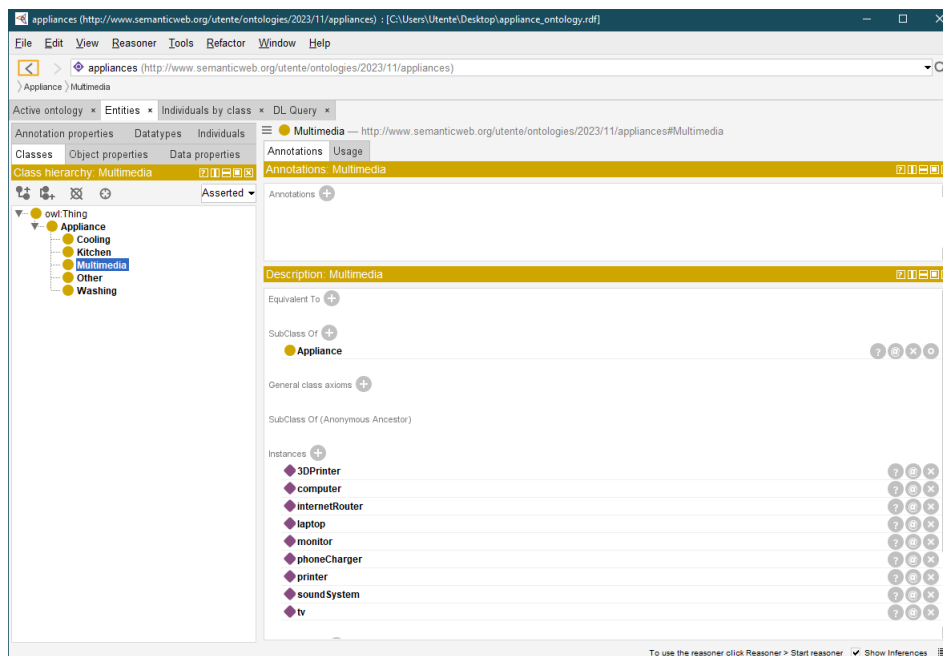


Figura 5: Schermata del tool Protégé

L'ontologia è organizzata prendendo in considerazione la classe principale **Appliance**, usata per rappresentare un generico dispositivo elettronico. All'interno di essa, sono presenti le seguenti data property:

- **appliance\_name**: Nome del dispositivo;
- **energy\_consumption**: insieme di possibili consumi elettrici per uno stesso dispositivo;
- **size**: Dimensioni del dispositivo. Queste possono essere: **small**, **medium** oppure **large**;

Le data property sono utilizzate per contenere valori primitivi, come stringhe o interi.

La classe **Appliance** possiede le seguenti sottoclassi, che andranno ad ereditare i data property della classe genitore.

- **Multimedia**: Contiene tutti gli individui che fanno parte della categoria dei dispositivi multimediali.

- **Kitchen:** Contiene tutti gli individui che fanno parte della categoria dei dispositivi per la cucina.
- **Cooling:** Contiene tutti gli individui che fanno parte della categoria dei dispositivi legati a rinfrescare le strutture abitative.
- **Washing:** Contiene tutti gli individui che fanno parte della categoria dei dispositivi per la pulizia.
- **Other:** Contiene tutti gli individui che non fanno parte delle sottoclassi precedenti.

L'uso di queste sottoclassi, ci permette di distinguere meglio la categoria degli individui sfruttando la proprietà `rdfs:subClassOf(C1,C2)`, questa infatti mi dice che la classe `C1` è sottoclasse di `C2`.

Tra gli individui, infatti, oltre ad assegnare dei valori alle data property, assegno come tipo la sua sottoclasse di appartenenza.

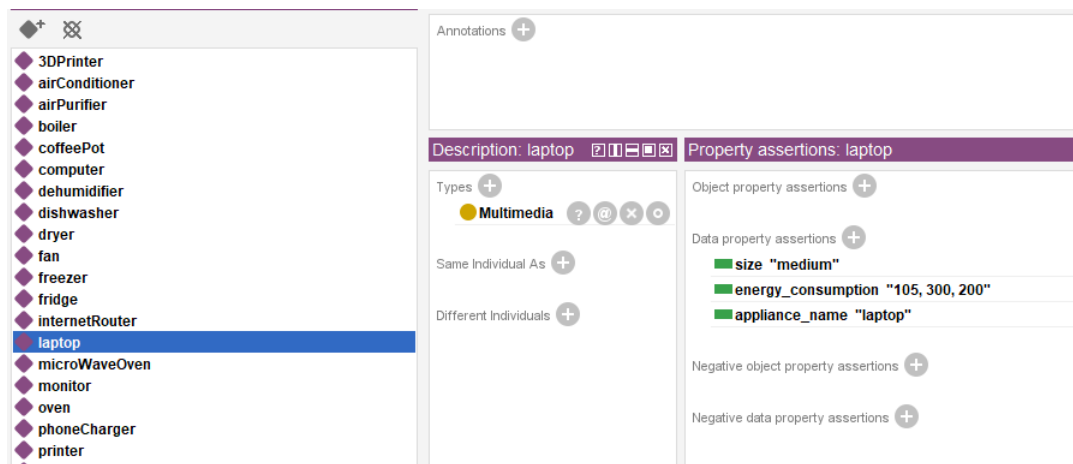


Figura 6: Schermata degli individui, con assegnamento dei valori alle sue proprietà e tipo.

### 3.2.3 Lavorare sull'ontologia

Per lavorare sull'ontologia, ho usato la libreria `rdflib`. Grazie ad essa, è stato possibile caricare il file `/ontology/appliance_ontology.rdf` e di applicare su di esso una serie di operazioni, come:



- Lettura dell'ontologia;
- Ricerca di un individuo;
- Verificare la presenza di un individuo;
- Rimuovere un individuo;
- Aggiungere un individuo;

I dati contenuti nell'ontologia, vengono usati per strutturare i dispositivi elettronici e, una volta letti, vi è possibile applicare gli algoritmi di CSP o usare il Sistema Esperto.

## 4 Troubleshooting

### 4.1 Risolvere il problema di esecuzione con la PowerShell

In caso non si riesca ad eseguire con la PowerShell [\[4\]](#), l'attivazione dell'ambiente virtuale, provate a svolgere i seguenti passi.

Aprire innanzitutto la PowerShell come amministratore nella cartella del progetto. Una volta aperta la PowerShell, digitare il comando:

```
Get-ExecutionPolicy
```

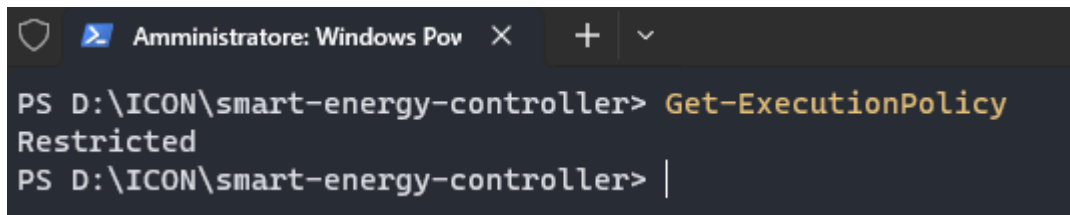
Grazie a questo comando, possiamo sapere quale execution policy è impostata per la PowerShell. In figura 3, è mostrato una possibile execution policy impostata nella PowerShell.

Per permettere l'esecuzione degli script `.ps1`, allora bisogna impostare su `AllSigned` la execution policy.

Per farlo si usa il comando:

```
Set-ExecutionPolicy -ExecutionPolicy AllSigned
```

Una volta eseguito questo comando, andare nella cartella `/.venv/Scripts/` e digitare il comando:

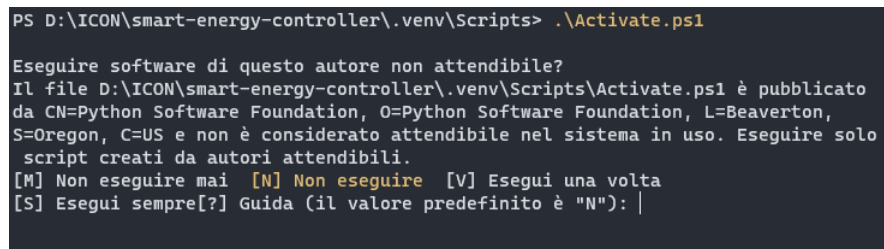


```
PS D:\ICON\smart-energy-controller> Get-ExecutionPolicy
Restricted
PS D:\ICON\smart-energy-controller> |
```

Figura 7: Possibile execution policy

```
.\Activate.ps1
```

Apparirà sul terminale il seguente output:



```
PS D:\ICON\smart-energy-controller\.venv\Scripts> .\Activate.ps1
Eseguire software di questo autore non attendibile?
Il file D:\ICON\smart-energy-controller\.venv\Scripts\Activate.ps1 è pubblicato
da CN=Python Software Foundation, O=Python Software Foundation, L=Beaverton,
S=Oregon, C=US e non è considerato attendibile nel sistema in uso. Eseguire solo
script creati da autori attendibili.
[M] Non eseguire mai [N] Non eseguire [V] Esegui una volta
[S] Esegui sempre[?] Guida (il valore predefinito è "N"): |
```

Figura 8: Messaggio di conferma

Per eseguire lo script di attivazione, allora inserite V e premete invio.

Una volta che avete finito l'esecuzione del programma, potete anche reimpostare la execution policy al suo stato precedente, usando il comando:

```
Set-ExecutionPolicy -ExecutionPolicy <PolicyNamePrecedente>
```

## 4.2 Errore di esecuzione del programma Python

E' possibile che, durante l'esecuzione del programma, possa apparire il seguente messaggio di errore [5]:

```

Utente@DESKTOP-4KVMPN MINGW64 /d/ICON/smart-energy-controller (main)
$ python main.py
Traceback (most recent call last):
  File "D:\ICON\smart-energy-controller\main.py", line 1, in <module>
    from knowledge_base.expert_system import run_expert_system
  File "D:\ICON\smart-energy-controller\knowledge_base\expert_system.py", line 1, in <module>
    from experta import DefFacts, Fact, KnowledgeEngine, Rule
  File "D:\ICON\smart-energy-controller\.venv\Lib\site-packages\experta\__init__.py", line 5, in <module>
    from .engine import KnowledgeEngine
  File "D:\ICON\smart-energy-controller\.venv\Lib\site-packages\experta\engine.py", line 13, in <module>
    from experta.fact import InitialFact
  File "D:\ICON\smart-energy-controller\.venv\Lib\site-packages\experta\fact.py", line 9, in <module>
    from experta.utils import freeze, unfreeze
  File "D:\ICON\smart-energy-controller\.venv\Lib\site-packages\experta\utils.py", line 4, in <module>
    from frozendict import frozendict
  File "D:\ICON\smart-energy-controller\.venv\Lib\site-packages\frozendict\__init__.py", line 16, in <module>
    class frozendict(collections.Mapping):
                        ~~~~~
AttributeError: module 'collections' has no attribute 'Mapping'
(.venv)

```

Figura 9: Errore di esecuzione

Questo errore è dovuto ad una versione datata della libreria **frozendict** usata come dipendenza della libreria **experta**.

Fare l'upgrade della libreria **frozendict** alla versione più recente, andrebbe a creare dei conflitti di dipendenza tra le due versioni della librerie.

Per risolvere questo problema, bisogna andare nella cartella `/.venv/Lib/site-packages/frozendict` e aprire il file `__init__.py`.

Una volta aperto, bisogna cambiare la seguente linea di codice:

```

class frozendict(collections.Mapping):
    ...

```

Nella seguente:

```

class frozendict(collections.abc.Mapping):
    ...

```

## 5 Conclusioni e Sviluppi Futuri

L'applicativo realizzato, è riuscito nell'intento di poter tenere traccia degli elettrodomestici presenti, di poter fornire feedback all'utente su quale dis-

positivo rischia di far saltare il salvavita e, infine, di poter determinare quali dispositivi rispettino i vincoli forniti.

Possiamo estendere e migliorare l'applicativo in vari modi:

- Migliorare l'interazione con l'utente tramite una GUI;
- Avviare una simulazione dell'uso di un sottogruppo di elettrodomestici nell'arco di una giornata per un individuo;
- Poter considerare, insieme al consumo energetico, anche i costi della bolletta;
- Uso di dataset che prendano in considerazione consumi e tempi di utilizzo reali;
- Espandere la base di conoscenza, con il costo energetico di ogni dispositivo elettronico;

## 6 Riferimenti Bibliografici

- [1] Paginazione: [Funzionamento della paginazione](#).
- [2] AIPython (2023): [Ragionamento con i vincoli, capitolo 4 pagina 69](#).
- [3] freeCodeCamp (2022): [Creazione di un ambiente virtuale in Python](#).
- [4] PowerShell Documentation (2022): [Documentazione sul funzionamento delle execution policy della PowerShell Windows](#).
- [5] Attribute Error (2023): [Risoluzione problema legato alle dipendenze datate](#).
- [6] Protégé: [Sito ufficiale di Protégé](#).
- [7] `perf_counter_ns()`: [Documentazione ufficiale per la funzione `perf\_counter\_ns\(\)`](#).