PROGETTO IDROFORSU

Tecnologia Innovativa per la gestione della frazione organica dei rifiuti solidi urbani con residuo di processo compatibile con un potenziale riutilizzo agronomico

Report sulle logiche di controllo

REGIONE PUGLIA
DIPARTIMENTO SVILUPPO ECONOMICO, INNOVAZIONE, ISTRUZIONE, FORMAZIONE E LAVORO, SEZIONE RICERCA, INNOVAZIONE E CAPACITÀ ISTITUZIONALE

UNIONE EUROPEA
FONDO EUROPEO DI SVILUPPO REGIONALE

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Intervento cofinanziato nell'ambito del POR Puglia FESR-FSE 2014-2020
Asse prioritario 1 - Ricerca, sviluppo tecnologico, innovazione - Azione 1.4.b
BANDO INNOLABS
Sostegno alla creazione di soluzioni innovative finalizzate a specifici problemi di rilevanza sociale
Investiamo nel vostro futuro
Progetto IDROFORSU - codice REGKH90

C3-Report sulle logiche di controllo

In questa fase del progetto ci si è occupati di definire la logica di monitoraggio e controllo, necessaria alla gestione automatica del sistema di trattamento termico, seguito da digestione anaerobica, della FORSU.
Il cuore di tale sistema è costituito essenzialmente da un sistema MODBUS TCP/IP serie Schneider Electric mentre l'interfaccia grafica e computazionale è stata sviluppata con il software Somachine di Schneider Electric. Il lavoro svolto si può suddividere in tre parti che si riferiscono ai diversi livelli della struttura di controllo.

1.Un livello hardware, in cui è stata effettuata una progettazione di massima dell'impianto del sistema, la definizione dei collegamenti tra i vari dispositivi, oltre che verificare la corretta interazione tra questi in relazione alle caratteristiche dell'informazione da trasferire.

2. Un primo livello software, legato al programma di interfaccia grafica HMI, attraverso la quale è possibile monitorare il sistema ed interagire con lo stesso.

3. Un secondo livello software, legato alla programmazione del PLC al fine di realizzare i compiti di acquisizione dati, controllo ed automazione richiesti.

I compiti e le funzionalità gestiti dal sistema di controllo riguardano molteplici aspetti, riassumibili nelle azioni di:

- Acquisizione dati, salvataggio e monitoraggio degli stessi;
- Verifica di superamento di soglie impostabili;
- Esecuzione di procedure automatizzate.

Componenti del sistema

Il sistema da controllare è costituito da:

- 1 pompa per il prelievo e trasferimento della FORSU trattata termicamente dal reattore di flashing al digestore;
- 1 pompa utilizzata sia per il ricircolo nel digestore durante tutta la fase di digestione che per lo scarico del digestato da digestore;
- 1 resistenza elettrica per il trattamento termico della FORSU;
- 1 resistenza elettrica per il riscaldamento della FORSU durante la fase di digestione;
- 1 pompa peristaltica proporzionale per immissione di soluzione acida/alcalina nel digestore;
- 1 analizzatore gas CO_2/CH_4;
- 1 logger analogico per taratura e programmazione sonda pH/temperatura;
- 1 sonda temperatura/pH per il digestore;
- 1 sonda temperatura;
- 1 sonda di pressione;
- 1 elettrovalvola a farfalla.

Le funzioni del sistema di controllo

I compiti richiesti al sistema di controllo si possono riassumere nelle seguenti azioni:

- Definizione dei comandi per la gestione dei sensori ed attuatori;
- Visualizzazione e salvataggio del valore attuale e dell'andamento temporale sia delle grandezze monitorate che di quelle impostate;
- Gestione di una procedura automatizzata per la gestione del setpoint di pH, con possibilità di impostare il gradiente di flusso di di soluzione disciolta da immettere.

Nella struttura di controllo prevista per il sistema, lo svolgimento di tali compiti comporta:

1. Livello hardware: la definizione dei collegamenti per l'alimentazione delle varie utenze del sistema, oltre che per gli input/output del PLC. In particolare, la calibrazione dei sensori e la verifica di corretta acquisizione del dato.

2. Interfaccia grafica: la creazione dell'interfaccia grafica HMI, oltre agli elementi necessari per assolvere a tutti i compiti di visualizzazione, salvataggio voluti, definendo chiaramente le variabili di scambio tra sistema e PLC.

3. Programmazione PLC: per l'acquisizione ed il salvataggio dei dati di misura in un'apposita area di memoria raggiungibile dall'esterno,

Organizzazione del sistema di controllo

La struttura del sistema in test non cambia mai in modo sostanziale passando dalla fase di monitoraggio a quella di controllo. Alla luce di questo fatto, si è scelto di sviluppare un sistema di controllo minimizzando gli interventi sui collegamenti e sui cablaggi.
Per far questo, nella struttura logica, si è inserito un quadro elettrico di controllo (o Rack), che raccoglie tutti i collegamenti verso i sensori ed apparecchiature che interagiscono con il sistema in test. Anche nella composizione del PLC si è scelto di definire i canali di ingressi ed uscite in modo univoco per ciascun segnale, assegnando ad ogni dispositivo le proprie linee di ingresso o uscita.
L'interfaccia grafica è strutturata in modo da poter agevolmente selezionare la fase di test corrente, mettendo a disposizione dell'utente tutte e sole le informazioni ed i comandi relativi.
Si evidenziano i due livelli su cui è costituita la struttura del sistema di controllo ovvero:

Livello 1: interazione con il sistema, composto dai sensori e da quanto necessario per elaborare l'informazione acquisita da questi, oltre alle apparecchiature che intervengono direttamente sul sistema in test.

Livello 2: il PLC che raccoglie le informazioni dal sistema rendendole disponibili per l'HMI -PC, esegue le funzioni di controllo ed automazione definite per ciascuna fase, secondo i parametri specificati dall'utente.

L'inserimento del rack permette una migliore organizzazione delle apparecchiature, situate direttamente al suo interno permettendo di raccogliere tutti i controller e schede di conversione per i diversi sensori ed anche i relè d'interfaccia per il comando delle apparecchiature esterne. Il quadro di controllo svolge allo stesso tempo la funzione di distribuzione dell'energia elettrica per le varie utenze, consentendo di velocizzare il passaggio da una fase di test alla successiva, poiché è possibile collegare fin da subito tutte le apparecchiature esterne. Inoltre da sottolineare che tale configurazione presenta:

Affidabilità: questo componente, utilizzato per applicazioni prevalentemente industriali, garantisce elevati standard di robustezza, affidabilità, e di reiezione verso i disturbi elettrici;

Versatilità ed espandibilità: visto l'ambito sperimentale dell'applicazione, in cui ci si possono attendere modifiche in corso d'opera, le caratteristiche di modularità e di espandibilità, oltre alla caratteristica di potersi interfacciare grazie ad uno standard di comunicazione "aperto", rendono questo elemento particolarmente comodo e flessibile nei confronti delle molteplici esigenze delle apparecchiature ad esso collegate e delle possibilità di modifica ed espansione del sistema;

Funzionalità: il linguaggio di programmazione permette la realizzazione in modo piuttosto semplice di tutte le funzioni richieste, la gestione dettagliata di ogni operazione consentendo di verificare comodamente i blocchi di codice e di aggiornare ed ampliare velocemente, se necessario, le funzioni del sistema di controllo.

Dimensionamento e cablaggi dell'hardware

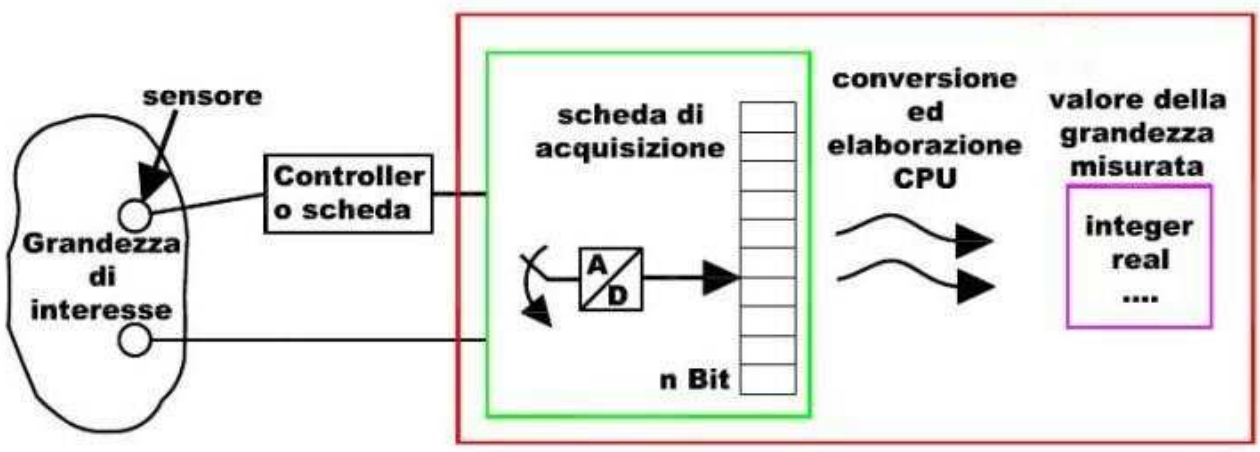
In questa sezione ci si occuperà dello sviluppo di quello che è stato definito come il livello hardware del sistema. In particolare, ci si concentrerà sul quadro di comando e sulla determinazione dei collegamenti realizzati al suo interno. Il lavoro svolto riguarda un dimensionamento di massima, completo di scelta indicativa dei componenti da utilizzare e del progetto dello schema elettrico per la distribuzione di potenza, per collegamenti ausiliari e per tutte le connessioni tra i dispositivi, sia interni che esterni al rack.
Da questi dati si sono scelti i componenti di protezione e di comando, le modalità di distribuzione dell'energia elettrica fino alle singole apparecchiature, oltre che definite le caratteristiche delle schede di interfaccia del PLC.
Le scelte indicative della componentistica da utilizzare, assieme ai disegni della loro disposizione nel rack e dei relativi collegamenti, costituiscono le indicazioni e le specifiche fornite per la realizzazione del quadro di controllo. Si è esaminato poi ogni singolo componente, al fine di stabilirne i collegamenti e descriverne nel dettaglio le modalità di funzionamento e di utilizzo. L'interfaccia con cui interagisce la quasi totalità dei componenti sono le schede di input/output del PLC.

Tematiche di trattamento dati

La gestione dell'acquisizione dei segnali dal sistema, fino al salvataggio dei dati elaborati da questi, è un elemento trasversale nella struttura di controllo, che richiede la cura di ogni livello ed una corretta interazione tra gli stessi. In questa sezione si esporranno le modalità di acquisizione dei segnali (in particolare quelli analogici) dai diversi dispositivi utilizzati, cercando di rimanere per quanto possibile vicini al livello hardware, ma saranno indispensabili considerazioni ed anticipazioni su quanto fatto negli altri livelli. In particolare ci si occuperà di:

- Definire le tipologie dei segnali d'interesse per ogni fase del test, caratterizzando l'informazione utile, in termini di frequenza di aggiornamento e precisione, che si vuole ricavare al fine del salvataggio dati o di funzioni di controllo;
- Determinare, per le diverse tipologie di segnale e apparecchiatura, le modalità di acquisizione e conversione, al fine di ottenere l'informazione desiderata;
- Descrivere le soluzioni scelte per alcuni particolari segnali, verificando sperimentalmente le potenzialità ed i limiti di tali scelte;
- Analizzare limiti e possibili sviluppi del sistema realizzato.

Per far questo saranno approfondite alcune nozioni sulle regole di funzionamento del PLC e in particolare delle sue schede di acquisizione per segnali analogici.



Schema di principio per l'acquisizione dei segnali.

Acquisizione dei segnali con PLC

Acquisizione dei segnali analogici

L'acquisizione dei segnali analogici da parte del PLC avviene per mezzo di apposite schede di interfaccia. Tali schede hanno fondamentalmente il compito di eseguire la conversione da analogico a digitale del segnale in ingresso, rendendo il valore quantizzato disponibile per la CPU. Tra i parametri caratteristici, che distinguono una scheda dall'altra, sono fondamentali:

- La tipologia di segnali analogici accettati in ingresso (es. tensione, corrente, resistenza, ecc) ed i loro campi di misura (es. 0 ÷ 10 V , 4 ÷ 20mA, ecc);
- Il tempo di aggiornamento del dato;
- Il numero di bit del convertitore A/D (Analogico/Digitale) nbit.

Per capire la tempistica con cui un dato è disponibile per l'elaborazione da parte della CPU, si tenga presente che nelle schede d'ingresso analogiche l'aggiornamento dei valori quantizzati avviene con un ciclo temporale autonomo, indipendente dall'elaborazione del programma e non sincronizzato con nessun'altra attività. Ogni scheda ha al suo interno uno o più convertitori A/D il cui principio di funzionamento è di tipo integrale, ad eccezione della scheda ad alta velocità che utilizza un convertitore ad approssimazione successiva. I segnali in ingresso sono prima normalizzati secondo le specifiche elettriche del gruppo a cui appartengono; poi uno o più multiplexer (a seconda del numero di convertitori A/D) scandiscono i canali in modo sequenziale rendendoli disponibili per la conversione. Il valore digitale ottenuto dalla conversione è salvato in un'area di memoria interna alla scheda, sovrascrivendo quello acquisito nel ciclo precedente per lo stesso canale.

Progettazione logica di controllo

Dopo la progettazione e la costruzione del dispositivo rimane da risolvere un aspetto cruciale che è quello della programmazione del PLC. Bisogna avere ben chiare le specifiche da rispettare prima di utilizzare un linguaggio grafico finalizzato alla descrizione del comportamento del sistema.

Il collegamento hardware tra tutte le utenze, i dispositivi ed i sensori presenti nel sistema all'unità centrale di controllo avviene attraverso delle schede elettroniche di interfaccia tra l'impianto e l'unità centrale PLC, in particolare:

a) CPU TM241CE24T/U:14 ingressi digitali, 10 uscite transistor (0,5A), 2 porte di linea seriale, 1 porta Ethernet.



Configurazione canali

Dispositivo/sensore	
Elettrovalvola per la disconnessione dei reattori totalmente aperta	Ingresso digitale I0
Elettrovalvola per la disconnessione dei reattori totalmente chiusa	Ingresso digitale I1
Comando avvio pompa peristaltica per il controllo del pH	Uscita digitale Q1
Comando accensione traccia elettrica per riscaldamento digestore	Uscita digitale Q2
Comando accensione resistenza elettrica per trattamento termico	Uscita digitale Q3
Comando apertura elettrovalvola per la disconnessione dei reattori	Uscita digitale Q4
Comando avvio pompa trasferimento da reattore a digestore	Uscita digitale Q5
Comando avvio pompa di ricircolo/scarico digestore	Uscita digitale Q6
Comando accensione agitatore a pale nel digestore	Uscita digitale Q7

Uscite digitali

Il modulo è utilizzato per i comandi di attuatori digitali. Ad esempio un relè è un attuatore digitale, poiché può avere soltanto due stati stabili: diseccitato, o eccitato. Altro esempio di attuatore è una valvola digitale a due stati: aperta, chiusa (elettrovalvola). Nel caso di schede di uscita digitali, si possono gestire da un minimo di 1 ad un massimo di 16 uscite digitali differenti.

b) Modulo input/output Analogico TM3AM6:Modulo di espansione connesso in serie alla CPU con 4 ingressi analogici (+- 10 V, 0-10V, 0-20 mA, 4-20mA) e 2 uscite analogiche (+- 10 V, 0-10V, 0-20 mA, 4-20mA), risoluzione a 12 bit



Configurazione canali

Dispositivo/sensore	
Temperatura reattore trattamento termico	Ingresso analogico IW0
Portata volumetrica biogas	Ingresso analogico IW1
Pressione reattore trattamento termico	Ingresso analogico IW2
Frequenza agitatore a pale mel digestore	Uscita analogica QW0

Uscite analogiche

Il modulo permette di controllare degli attuatori variabili. Possono essere in corrente o in tensione e avere una determinata risoluzione esprimibile in bit. Ad esempio è possibile comandare un motore elettrico tramite un inverter variandone la velocità, tramite la frequenza, da zero alla sua massima velocità. Oltre all'esempio sopra citato servono per regolazioni di temperatura variando l'intervallo di uscita, regolazioni di luce. Un esempio che può essere molto chiaro è quello dell'intensità luminosa di una serie di plafoniere. Tramite un potenziometro noi aumenteremo o diminuiremo l'intensità luminosa. In questo caso si possono gestire da 2 a 4 uscite analogiche sia in corrente 0-20mA, 4-20mA che in tensione 0-10V, -10-10V e 0-5V.

c) Modulo input Analogico TM3AI8 Modulo di espansione connesso in serie al modulo TM3AM6 con 8 ingressi analogici (+- 10 V, 0-10V, 0-20 mA, 4-20mA), risoluzione a 12 bit, morsettiere rimovibili.



Configurazione canali

Dispositivo/sensore	
pH matrice in digestore	Ingresso analogico IW0
Temperatura matrice in digestore	Ingresso analogico IW1
Livello di riempimento del digestore	Ingresso analogico IW2
Concentrazione di CH4 nel biogas	Ingresso analogico IW3
Concentrazione di CO2 nel biogas	Ingresso analogico IW5

Ingressi analogici

Il modulo permette il controllo di grandezze elettriche il cui valore può variare entro un intervallo ben definito. Le grandezze in gioco sono in tensione o in corrente. Per il nostro scopo è disponibile una scheda di ingresso analogico in corrente, con un intervallo variabile tra 4 e 20 mA. Nel caso di schede a ingresso analogico, si possono gestire da un minimo di 4 ad un massimo di 8 ingressi analogici differenti a 12 o 14 bit.

Sistema di comunicazione

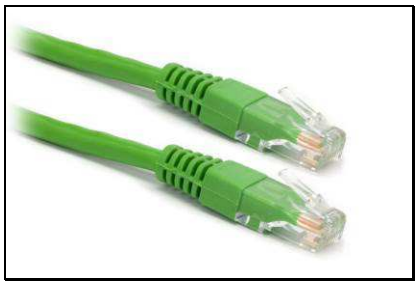
La logica di controllo implementata sul PLC oltre ad eseguire le operazioni di attuazione, apertura chiusura valvola, avvio e spegnimento pompe, include dei loop di controllo in grado di gestire automaticamente il funzionamenti dell'impianto, ad esempio dalla regolazione della temperatura all'interno del digestore,, alla regolazione del pH della matrice all'interno. Al fine di monitorare costantemente il comportamento del sistema, in termini di funzionalità o di eventuali anomalie rappresentate da allarmi, è stata implementata la subroutine datalogger che consente di registrare le grandezze di interesse ad intervalli di 30 minuti. Ogni due ore viene generato un file costituito da 4 righe contenenti i seguenti valori:

date	Data gg/mm/aa
time	Ora Hh:mm:ss
T1	Temperatura reattore trattamento termico [°C]
P1	Pressione reattore trattamento termico [bar]
pH	pH digestore
T_dig	Temperatura digestore [°C]
CO2	Concentrazione di CO2 [%] nel biogas
CH4	Concentrazione di CH4 [%] nel biogas
Hz	Frequenza agitatore [Hz]
Vol cc	Volume biogas prodotto *

Il valore viene azzerato ogni giorno alle ore 00:00:00

Il PLC durante il suo funzionamento può comunicare con un PC attraverso il protocollo FTP. La comunicazione avviene per mezzo di connessione standard TCP/IP.

I dati salvati periodicamente all'interno della CPU possono essere scaricati in qualunque momento dall'operatore attraverso un collegamento alla porta Ethernet presente sul sistema. Aprendo una pagina su qualunque browser e puntando all'indirizzo FTP del PLC si accede alla cartella di memoria contenente tutti i file registrati.



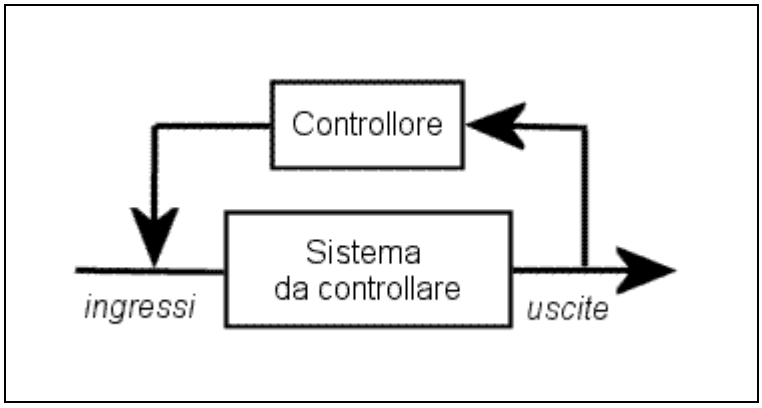
Cavo di comunicazione PLC<->PC.

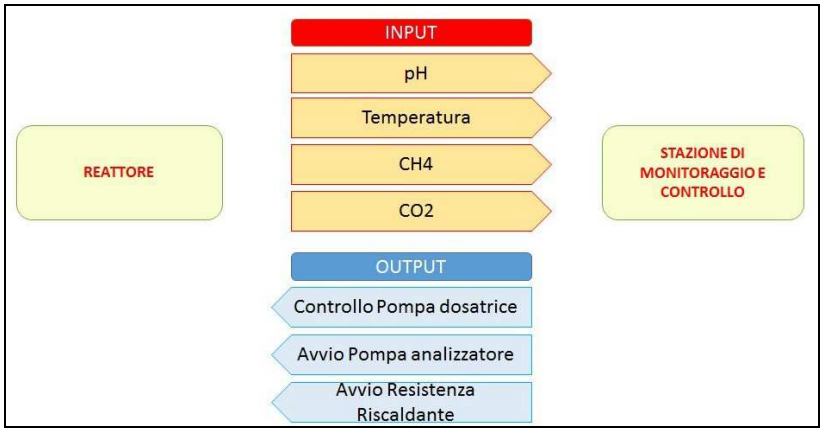
Loop di controllo

L'implementazione del sistema di controllo prevede tecnicamente che tutti gli input ed output che si interfaccino con il sistema "impianto" siano opportunamente collegati ad esso, di fondamentale importanza inoltre che esista una connessione teorica anche tra gli input ed output stessi del sistema. Successivamente, la creazione di una logica di controllo del processo consente di elaborare i dati ottenuti in ingresso e in uscita al fine di automatizzare il sistema convergendo alla condizione di "processo automatico".

Definizione delle variabili

Ingressi e uscite
Ogni sistema può avere uno o più ingressi e può avere una o più uscite. Ad ogni variazione delle variabili in ingresso segue una determinata risposta del sistema, ovvero una variazione di altre variabili all'uscita. Le variazioni delle variabili in ingresso più comuni sono: l'impulso di Dirac, il gradino, la rampa e la sinusoide).
Le *variabili in ingresso* utilizzate nel caso in oggetto si classificano come **variabili manipolabili** (o **variabili di controllo** o **variabili di manipolazione**) ed hanno la caratteristica di essere sempre misurabili. L'utilizzo delle variabili però è sempre connesso all'utilizzo di un sistema di **controllo** che le elabori e fornisca in uscita ulteriore variabili, *variabili in uscita.*
Il **controllo ad anello chiuso** (o **retroazionato** o **all'indietro** o ***feed-back***), più complesso ma molto più flessibile del primo, può rendere stabile un sistema che di per sé non lo è affatto.
In questo caso l'anello di controllo riporta, all'ingresso del processo che si vuole controllare (o rendere stabile), una funzione dell'uscita che va sommata algebricamente al segnale già presente in ingresso.





I modelli di controllo automatici implementati nel sistema, sono applicati sia durante la fase iniziale di idrolisi che quella successiva di digestione.

Regolazione ad anello chiuso tipo ON-OFF

Il controllo On-Off è la forma più semplice di controllo del feedback. Un controller on-off modifica lo stato della variabile manipolata da completamente chiusa a completamente aperta a seconda del valore della variabile controllata rispetto al setpoint. C'è, tuttavia, da considerare la delicatezza nell'utilizzo di tale sistema a livello pratico. Se la variabile manipolata si apre e si chiude nell'istante in cui la variabile controllata si discosta dal setpoint, il sistema tende ad "oscillare" ripetutamente a frequenza molto alta. Se ciò accadesse, a livello elettromeccanico, il dispositivo manipolato, non durerebbe a lungo. Per evitare queste oscillazioni ad alta frequenza, è necessario considerare la deadband nell'intorno del setpoint. Quando il valore misurato si trova all'interno di questa deadband, il controller non fa nulla, ma solo quando il valore si sposta al di fuori di tale intervallo l'azione viene intrapresa. L'effetto di ciò è quello di introdurre un'oscillazione continua nel valore della variabile controllata: maggiore è la deadband, maggiore è l'ampiezza e minore è la frequenza di oscillazione

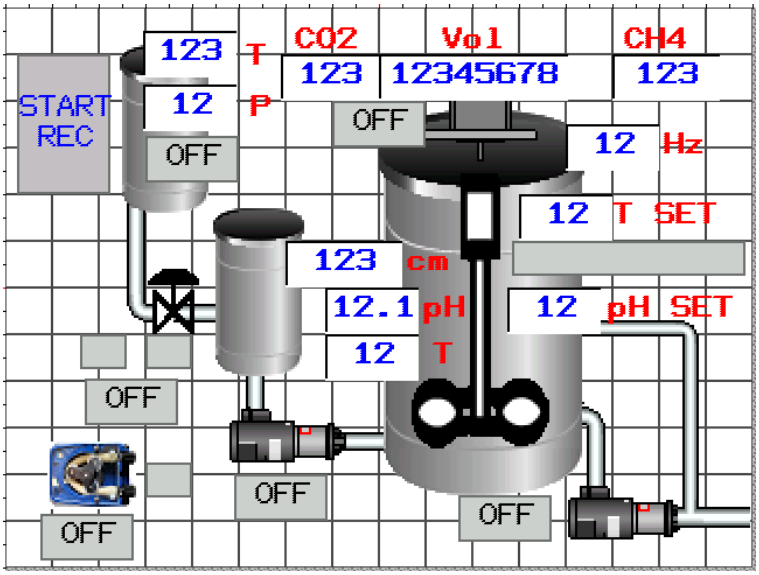
Tag Loop	Tipo controllo	Grandezza da controllare	Parametro da pilotare	Setpoint	Deadband
ID_TR1	ON-OFF	Temperatura trattamento termico [°C]	Resistenza elettrica [ON/OFF]	T=120°C	[110↔130]°C
ID_PC1	ON-OFF	Pressione trattamento termico [°C]	Compressore [ON/OFF]	P=11 bar	[9,5↔12,5]bar
ID_pHP1	ON-OFF	pH del digestato	Pompa peristaltica [ON/OFF]	pH=6,9	[6↔7,5]
ID_TR2	ON-OFF	Temperatura digestato [°C]	Resistenza elettrica [ON/OFF]	T=37°C	[31↔41]°C

- ID_TR1 L'obiettivo che si vuole raggiungere è quello di controllare la temperatura durante la fase di trattamento termico all'interno del reattore mediante attivazione e disattivazione della riscaldatore a resistenza elettrica ad immersione.

- ID_PC1 L'obiettivo che si vuole raggiungere è quello di controllare la pressione durante la fase di trattamento termico all'interno del reattore mediante attivazione e disattivazione del compressore.
- ID_pHP1 L'obiettivo che si vuole raggiungere è quello di controllare il pH durante la fase di digestione all'interno del serbatoio mediante attivazione e disattivazione della pompa peristaltica per l'immissione della soluzione acida/alcalina.
- ID_TR2 L'obiettivo che si vuole raggiungere è quello di controllare la temperatura durante la fase di digestione all'interno del serbatoio mediante attivazione e disattivazione della riscaldatore a resistenza elettrica a fascia.

HMI

Il sistema di interfacciamento che permette il monitoraggio e controllo di tutti i parametri e le grandezze coinvolte durante il processo è costituito da una display tattile HMI (Human Machine Interface).



Attraverso la schermata principale l'operatore oltre ad avere la completa visione del processo, delle utenze attive e dei vari valori misurati in tempo reale dai sensori, può intervenire in qualunque momento fermando parte del sistema nel caso in cui ad esempio dovesse sopraggiungere la necessità di attività di manutenzione.