



Ricerca di Sistema elettrico

Realizzazione della sezione H₂ dell'impianto AGATUR

G. Messina, C. Stringola, A. Assettati, E. Giulietti,
G. Guidarelli, S. Attanasi

Realizzazione della sezione H₂ dell'impianto AGATUR
G. Messina, C. Stringola, A. Assettati, E. Giuliotti, G. Guidarelli, A. Attanasi

Dicembre 2020

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II annualità

Work package WP3: "Power to Gas" (P2G)

Linea di attività LA3.24: Integrazione P2G/sistemi generazione elettrica innovativi: fuel-flexibility – sviluppo sezione H₂-AGATUR e sistemi monitoraggio combustione

Responsabile del Progetto: Giulia Monteleone - ENEA

Responsabile del Work Package: Eugenio Giacomazzi – ENEA

Indice

SOMMARIO	4
1 INTRODUZIONE	5
2 REGOLAZIONE PRIMARIA.....	6
3 EROGAZIONE E REGOLAZIONE	7
3.1 VALVOLA PNEUMATICA FV02	7
3.2 GRUPPO DI REGOLAZIONE DELLA PRESSIONE PTC03	7
3.3 GRUPPO DI REGOLAZIONE DELLA PORTATA FTC01	7
3.4 SENSORI DI PRESSIONE E TEMPERATURA AL PUNTO DI CONSEGNA	10
3.5 VALVOLA PNEUMATICA FV04	10
4 SISTEMA DI VENTILAZIONE	11
4.1 VALVOLA PNEUMATICA FV03	11
5 DISPOSITIVI DI SICUREZZA	12
5.1 VALVOLE DI SICUREZZA INDIPENDENTI DALL'OPERATORE	12
5.2 VALVOLA PNEUMATICA FV01	14
6 CONCLUSIONI.....	14

Sommario

È stato implementato sistema di accumulo e alimentazione H₂ dell'impianto AGATUR. Il sistema di storage dell'H₂ ha una capacità di 160 m³ ed è costituito da un pacco bombole 4 x 4 più una bombola di backup per lo shutdown in sicurezza ad esaurimento accumulo, entrambi destinati ad un'area adattata allo scopo all'esterno della hall tecnologica in cui è posizionato l'impianto AGATUR. Il sistema di storage è gestito da una centrale di scambio semiautomatica dotata di componenti a sicurezza intrinseca. Il sistema alimentazione è dotato di due organi riduzione della pressione, uno dei quali a controllo remoto per garantire un'erogazione stabile delle portate richieste ad una pressione al punto di consegna compresa tra 5 e 7 barg. La linea di alimentazione è dotata di due valvole di sezionamento a controllo remoto posizionate ai due estremi della tubazione, rispettivamente a valle del sistema di accumulo e a monte del punto di consegna. Tra le due valvole di sezionamento della linea di alimentazione, a monte del punto di consegna, è innestata una linea di ventilazione in atmosfera, per effettuare la depressurizzazione della linea di alimentazione ventilando l'idrogeno in zona sicura. La linea di ventilazione è dotata di valvola di sezionamento a controllo remoto. Fatta salva la gestione della sicurezza intrinseca del sistema, il controllo in remoto è gestito mediante trasmissione di segnali digitali o analogici 4-20 mA.

1 Introduzione

La realizzazione del sistema di accumulo e alimentazione idrogeno (RH2) dell'impianto AGATUR è stata concepita per esercire la micro-turbina a gas (MGT) Turbec T100 in regime di *fuel-flexibility*, ovvero con miscele combustibili composte da gas naturale con tenore variabile di idrogeno. L'attività sperimentale ha come obiettivo finale la creazione di condizioni operative compatibili con un'evoluzione del sistema elettrico coerente con scenari ad alta penetrazione di fonti rinnovabili non programmabili (VRES), dove l'eccesso di produzione elettrica rinnovabile, tramite l'elettrolisi, viene convertito in idrogeno "verde" e immesso nella rete gas, modificando nel tempo e nello spazio la composizione del gas trasportato. L'utilizzo delle micro-turbine a gas in contesti ad alta penetrazione di VRES implica il loro adattamento alla tolleranza di miscele combustibili con tenori di idrogeno variabili in linea di principio nell'intervallo 0-100%. In questa fase della sperimentazione, l'alimentazione ad idrogeno si intende sussidiaria di quella a gas naturale, ovvero non è prevista l'alimentazione della MGT al 100% di H₂. La sperimentazione ha come scopo finale il test della MGT alimentata con fluttuazioni temporali del tenore di idrogeno predefinite nella matrice sperimentale, con fluttuazioni della composizione della miscela controllate ma rilevanti. Il raggiungimento di questo obiettivo è vincolato alla realizzazione di test sperimentali intermedi finalizzati alla definizione dei limiti operativi dell'impianto AGATUR, con particolare riferimento ai sottosistemi RH2 e MGT, per i quali si dovranno definire rispettivamente, la capacità di erogare quantitativi di idrogeno nella quantità e condizioni richieste dalla matrice sperimentale e, nel caso della micro-turbina, la stabilità di funzionamento al variare del tenore di idrogeno nella miscela combustibile. Il sistema di accumulo e alimentazione di idrogeno è stato concepito per essere completamente integrato dal punto di vista funzionale, di processo e di controllo con l'impianto AGATUR. L'interfaccia meccanica è costituita da un collettore a quattro attacchi, utilizzabili simultaneamente o separatamente, che costituisce il limite di batteria del sistema di accumulo e alimentazione e l'interfaccia di collegamento fluidodinamico con il sistema di alimentazione del combustibile della turbina a gas. La pressione di alimentazione dell'idrogeno è controllata in remoto mediante un blocco di regolazione gestito in sinergia con il blocco di regolazione della portata massica di combustibile. Nel suo assetto definitivo, il sistema di alimentazione e accumulo di idrogeno, integrato con il sistema di controllo dell'impianto AGATUR, sarà in grado di erogare alla pressione richiesta quantità variabili di H₂, secondo curve di erogazione implementate nell'ambiente software del sistema di controllo.

2 Regolazione primaria

Il gruppo di regolazione primaria (**Figura 1**) ha la funzione di ridurre la pressione contenuta nei sistemi di accumulo a valori compresi tra 21 e 30 barg e di gestire lo scambio semiautomatico tra il pacco bombole e la bombola di backup, quando la pressione nel pacco bombole non è più sufficiente a sostenere l'erogazione dell'idrogeno nelle condizioni di minima pressione consentita dall'organo di riduzione. Il sistema attua lo scambio automatico dal pacco bombole alla bombola di backup per garantire la continuità di erogazione per un tempo sufficiente ad adeguare l'alimentazione della turbina a gas alla marcia con solo gas naturale o a gestire l'arresto in sicurezza della macchina. L'operazione di sostituzione del pacco bombole esaurito dovrà essere completata con la manovra di riarmo della centrale per permettere l'attivazione del ciclo di scambio successivo. Il gruppo di regolazione primario è costituito da:

- due flessibili (FL01 e FL02);
- un pacco bombole 4X4 e una bombola singola di backup per lo shutdown in sicurezza;
- una centrale semiautomatica ECOGAZ SA 200-30/21-110H2 dotata, su ciascun ramo, di valvole di radice, valvole di non ritorno (NR01 e NR02), valvole di spurgo (HV02 e HV03) e indicatori di pressione (PI01 e PI02) che permettono di compiere le opportune operazioni di *switch* del pacco bombole;
- due valvole di regolazione della pressione (PCV01 e PCV02) asservite alla prima riduzione di pressione;
- due trasmettitori di pressione (PT01 e PT02) a sicurezza intrinseca che rilevano il grado di riempimento dei rispettivi accumuli, gestiti in remoto mediante trasmissione di segnale in formato 4 - 20 mA.

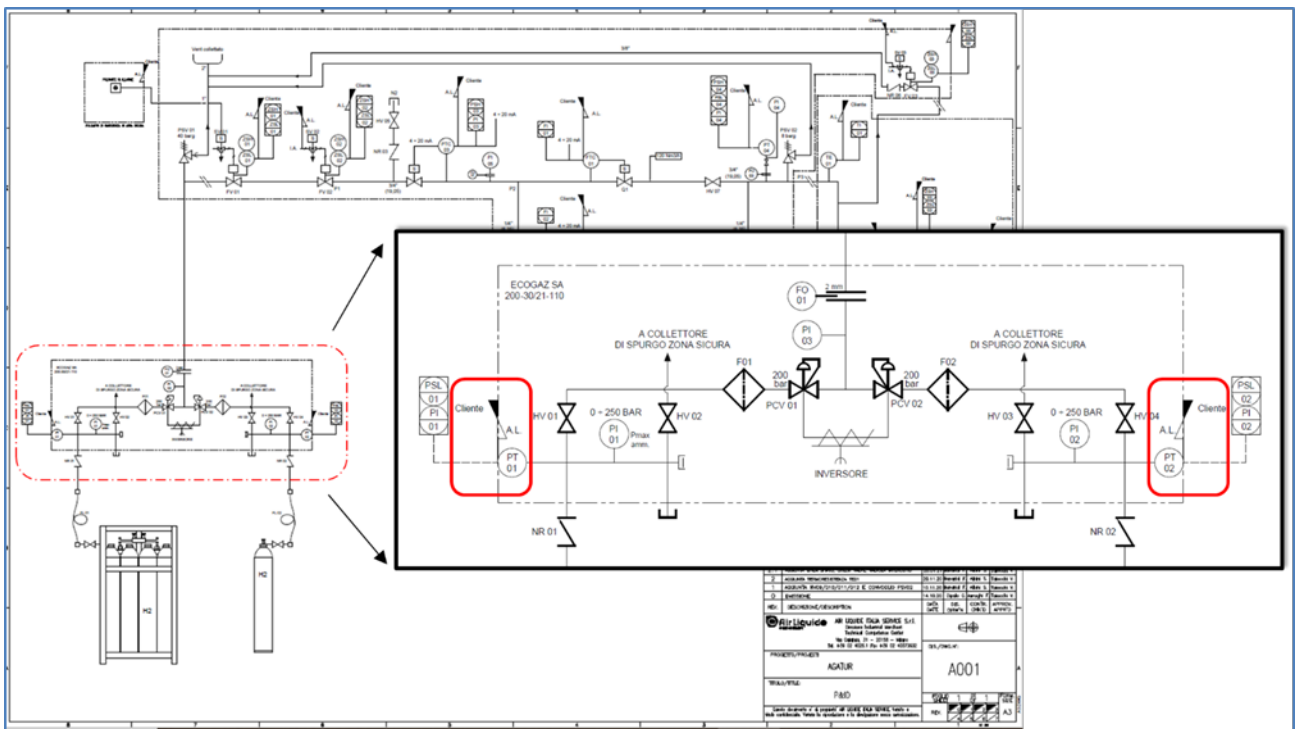


Figura 1. Sullo sfondo il P&ID del sistema di accumulo e alimentazione idrogeno nella sua interezza. In evidenza l'ingrandimento delimitato nel riquadro in tratteggio rosso con la vista di dettaglio del gruppo di regolazione primaria. Nei riquadri in rosso con linea continua sono evidenziati i trasmettitori di pressione PT01 e PT02.

3 Erogazione e regolazione

Il sottosistema di erogazione e regolazione ha lo scopo di convogliare la portata di idrogeno verso il punto di consegna regolandone la pressione e la portata ai valori di *set-point* mediante l'attuazione di due organi di regolazione controllati in remoto. La sezione di erogazione e regolazione è costituita da:

- una linea di adduzione in acciaio inossidabile;
- una valvola di intercettazione manuale (HV07);
- una valvola di intercettazione pneumatica (FV02) di tipo *fire-safe* dotata di elettrovalvola (24 VDC, ≈10 W) e sensori di prossimità (ZSH02 e ZSL02) a sicurezza intrinseca EEXia-IIC-T6;
- uno stacco predisposto per inertizzare la linea con azoto, dotato di valvola manuale (HV05), valvola di non ritorno (NR03) e tappo;
- un gruppo di regolazione elettronico della pressione (PTC03) integrato con trasmettitore di pressione e valvola di regolazione, gestito in remoto mediante trasmissione di segnali IN/OUT in formato 4-20 mA, finalizzato alla regolazione della pressione del tratto a valle;
- un gruppo di regolazione elettronico della portata (FTC01) integrato con trasmettitore massico di portata e valvola di regolazione, gestito in remoto mediante trasmissione di segnali IN/OUT in formato 4-20 mA, finalizzato alla regolazione della portata erogata;
- trasmettitore di pressione (PT04) a sicurezza intrinseca gestito in remoto mediante trasmissione di segnale in formato 4-20 mA;
- valvola di intercettazione pneumatica (FV04) normalmente chiusa di tipo *fire safe* dotata di elettrovalvola (24 VDC, ≈10 W) e sensori di prossimità (ZSH04 e ZSL04) a sicurezza intrinseca EEXia-IIC-T6;
- sensore di temperatura (TT01) a termo-resistenza;
- due valvole di non ritorno (NR04 e NR05);
- quattro valvole manuali (HV09, HV10, HV11, HV12) di tipo *fire-safe* terminate con tappo.

3.1 Valvola pneumatica FV02

La valvola pneumatica **FV02 (Figura 2)** consente il passaggio dell'idrogeno nella linea di adduzione verso la micro turbina a gas. La valvola è azionata mediante la servo-valvola **SV02** che, controllata da remoto mediante segnale digitale, abilita il passaggio dell'aria compressa necessaria a muovere l'attuatore della FV02. La valvola è dotata di sensori di prossimità **ZSH02** e **ZSL02** che indicano rispettivamente lo stato di completa apertura o completa chiusura della valvola, mediante trasmissione di un segnale digitale assimilabile ad una variabile di tipo booleano, con l'obiettivo di segnalare in modo univoco lo stato della valvola. La mancata coerenza dei segnali di prossimità che, escluso il transitorio del passaggio di stato della valvola da aperta a chiusa o viceversa, devono sempre essere di segno opposto, genera una condizione di allarme che segnala l'incoerenza della valvola, ovvero l'impossibilità di definirne in modo univoco lo stato di apertura o chiusura.

3.2 Gruppo di regolazione della pressione PTC03

Il gruppo di regolazione della pressione **PTC03 (Figura 3)** controlla e regola la pressione del tratto di linea a valle sulla base di un *set-point* trasmesso mediante segnale analogico in formato 4-20 mA, con l'obiettivo di garantire una pressione di erogazione stabile al variare della portata erogata dalla linea di adduzione. Il sensore integrato nel gruppo PTC03 trasmette il valore della pressione misurata, ovvero il risultato della regolazione effettuata, mediante segnale analogico in formato 4-20 mA.

3.3 Gruppo di regolazione della portata FTC01

Il gruppo di regolazione della portata **FTC01 (Figura 4)** controlla e regola la portata massica erogata dalla linea di adduzione dell'idrogeno alla micro turbina a gas sulla base di un *set-point* trasmesso mediante segnale analogico in formato 4-20 mA. Il sensore integrato nel gruppo FTC01 trasmette il valore della portata massica misurata, ovvero il risultato della regolazione effettuata, mediante segnale analogico in formato 4-20 mA.

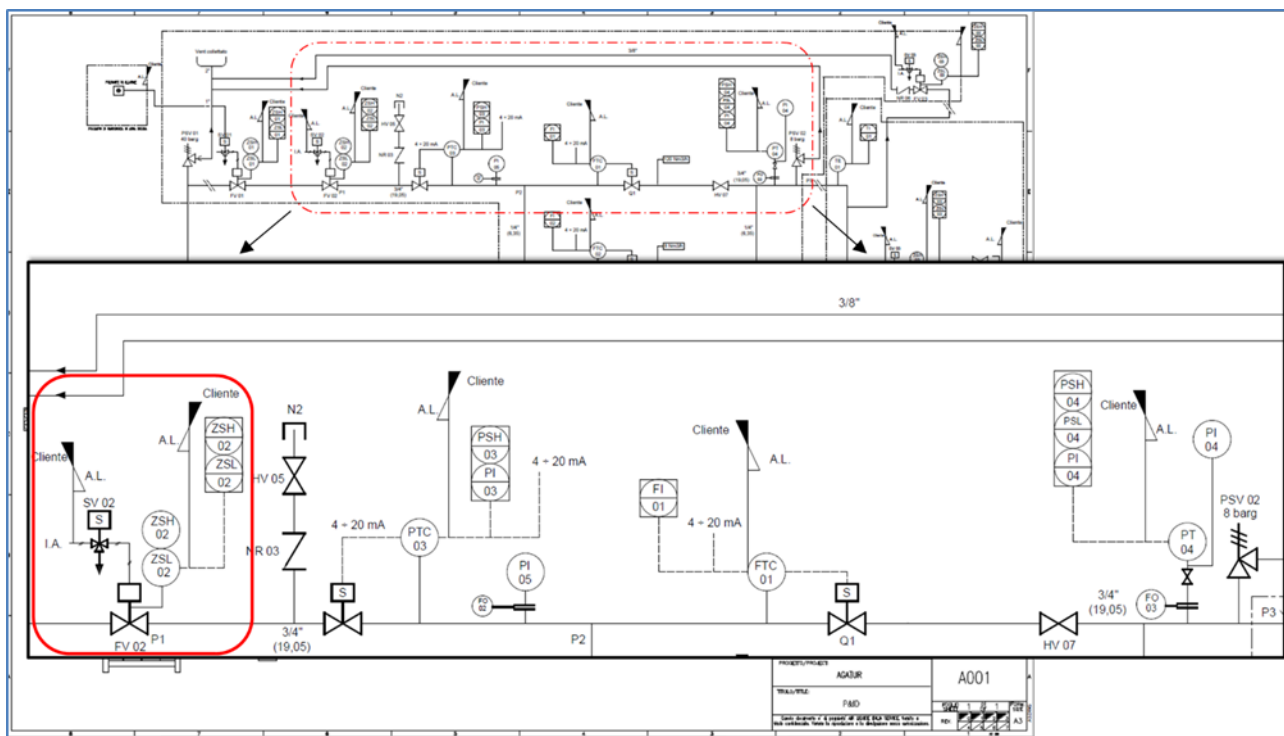


Figura 2. Sullo sfondo il P&ID del sistema di accumulo e alimentazione idrogeno nella sua interezza. In evidenza l'ingrandimento delimitato nel riquadro in tratteggio rosso con la vista di dettaglio della sezione di erogazione e regolazione. Nel riquadro in rosso con linea continua sono evidenziati il posizionamento e i segnali per la gestione della valvola pneumatica FV02.

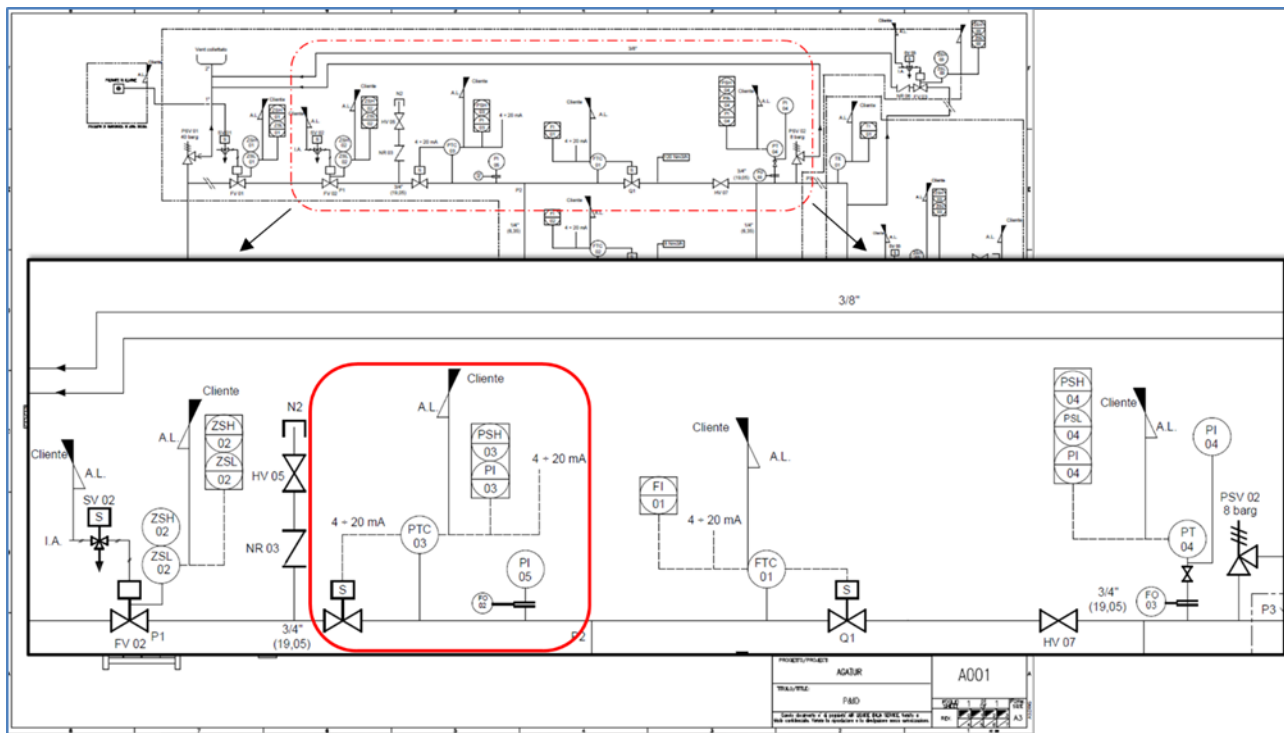


Figura 3. Sullo sfondo il P&ID del sistema di accumulo e alimentazione idrogeno nella sua interezza. In evidenza l'ingrandimento delimitato nel riquadro in tratteggio rosso con la vista di dettaglio della sezione di erogazione e regolazione. Nel riquadro in rosso con linea continua sono evidenziati il posizionamento e i segnali per la gestione del gruppo di regolazione della pressione PTC03.

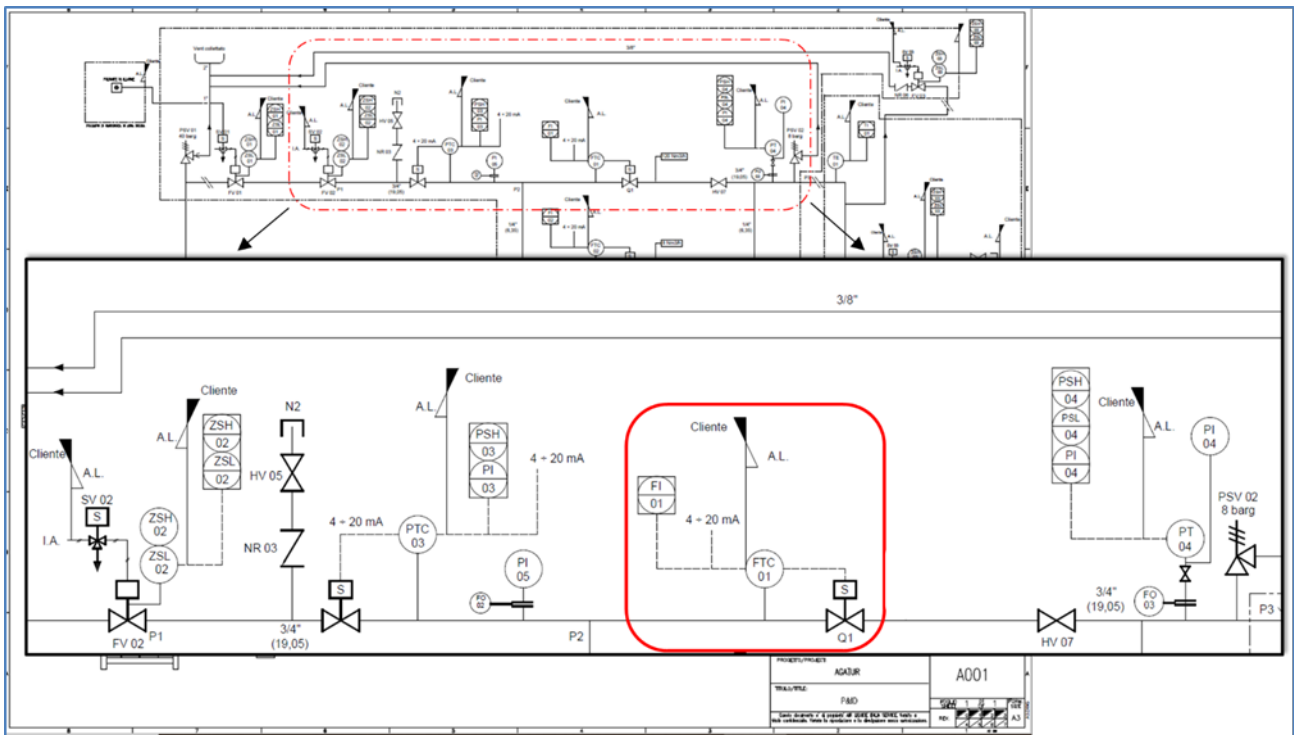


Figura 4. Sullo sfondo il P&ID del sistema di accumulo e alimentazione idrogeno nella sua interezza. In evidenza l'ingrandimento delimitato nel riquadro in tratteggio rosso con la vista di dettaglio della sezione di erogazione e regolazione. Nel riquadro in rosso con linea continua sono evidenziati il posizionamento e i segnali per la gestione del gruppo di regolazione della portata massica FTC01.

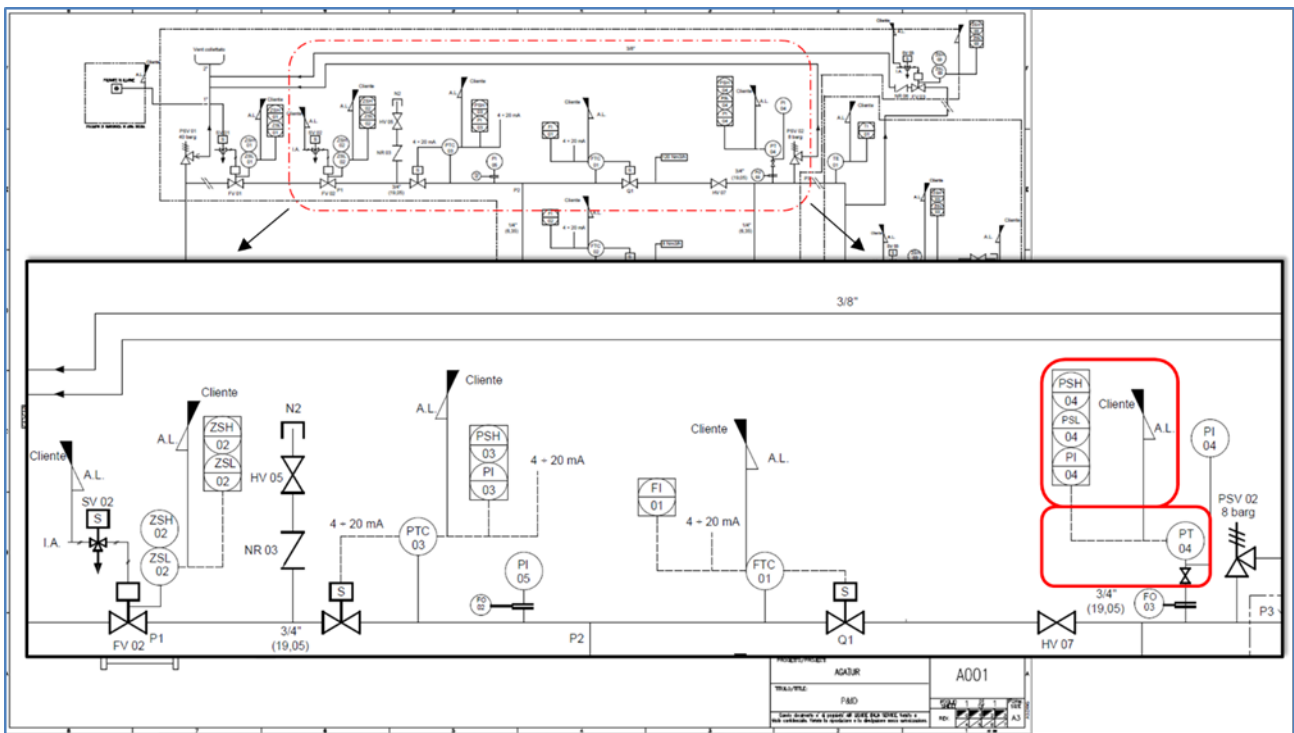


Figura 5. Sullo sfondo il P&ID del sistema di accumulo e alimentazione idrogeno nella sua interezza. In evidenza l'ingrandimento delimitato nel riquadro in tratteggio rosso con la vista di dettaglio della sezione di erogazione e regolazione. Nel riquadro in rosso con linea continua sono evidenziati il posizionamento e i segnali per la gestione del trasmettore di pressione PT04.

3.4 Sensori di pressione e temperatura al punto di consegna

Il trasmettitore di pressione **PT04** (Figura 5) e il sensore di temperatura **TT01** (Figura 6) trasmettono mediante segnale analogico in formato 4-20 mA rispettivamente il valore di pressione e di temperatura della linea di adduzione dell'idrogeno nel tratto immediatamente a monte del punto di consegna alla micro-turbina a gas.

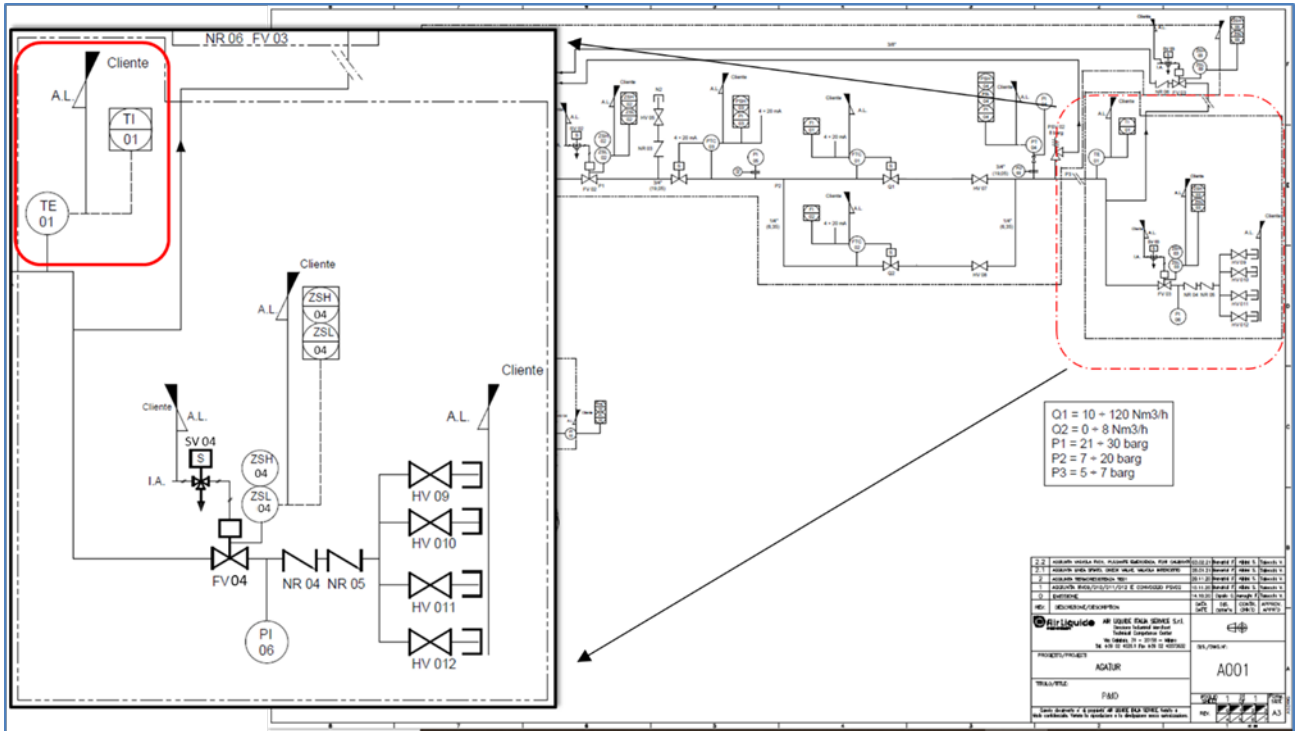


Figura 6. Sullo sfondo il P&ID del sistema di accumulo e alimentazione idrogeno nella sua interezza. In evidenza l'ingrandimento delimitato nel riquadro in tratteggio rosso con la vista di dettaglio del punto di consegna della sezione di erogazione e regolazione. Nel riquadro in rosso con linea continua sono evidenziati il posizionamento e i segnali per la gestione del trasmettitore di temperatura TT01.

3.5 Valvola pneumatica FV04

La valvola pneumatica **FV04** (Figura 7) consente il passaggio dell'idrogeno dalla linea di adduzione al punto di consegna verso la micro turbina a gas, costituito dal collettore che alloggia le valvole **HV09**, **HV10**, **HV11** e **HV12**. La valvola è azionata mediante la servo-valvola **SV04** che, controllata da remoto mediante segnale digitale, abilita il passaggio dell'aria compressa necessaria a muovere l'attuatore della FV04. La valvola è dotata dei sensori di prossimità **ZSH04** e **ZSL04** che indicano rispettivamente lo stato di completa apertura o completa chiusura della valvola, mediante trasmissione di un segnale digitale assimilabile ad una variabile di tipo booleano, con l'obiettivo di segnalare in modo univoco lo stato della valvola. La mancata coerenza dei segnali di prossimità che, esclusi i transitori di apertura o chiusura della valvola devono sempre essere di segno opposto, genera una condizione di allarme che segnala l'incoerenza della valvola, ovvero l'impossibilità di definirne in modo univoco lo stato di apertura o chiusura.

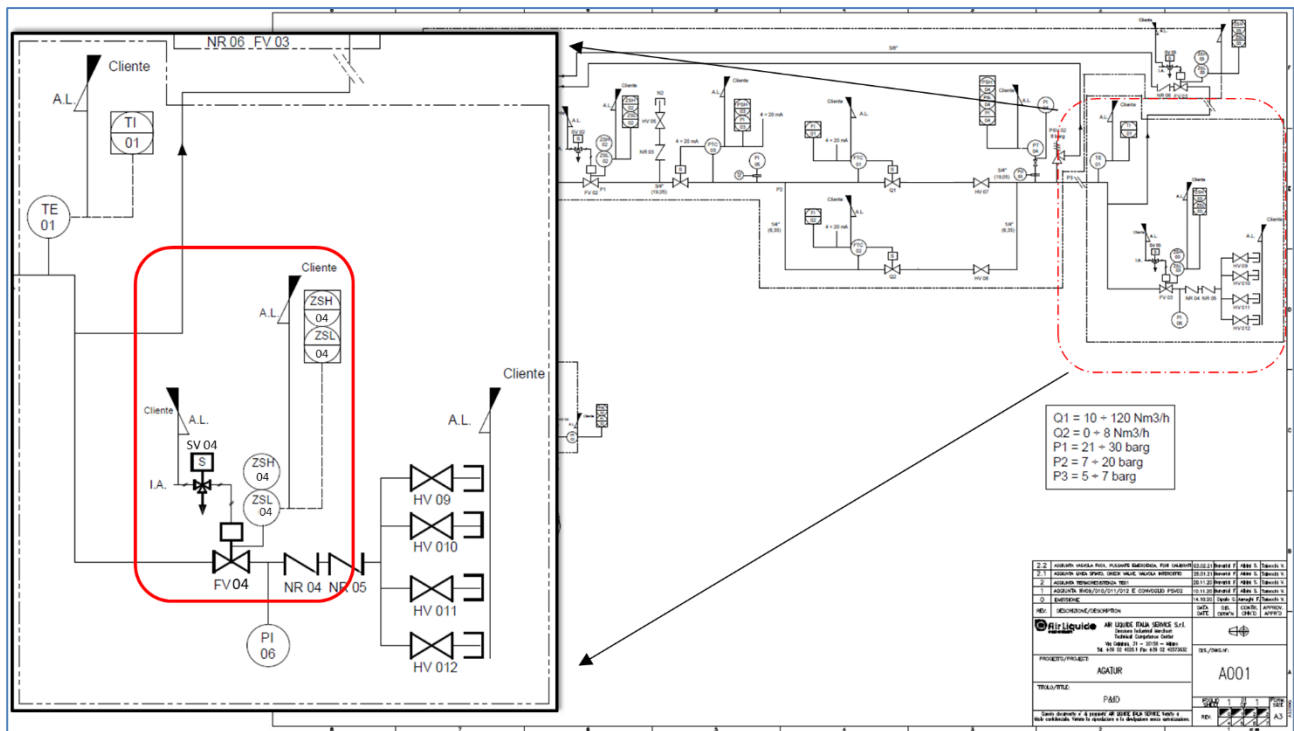


Figura 7. Sullo sfondo il P&ID del sistema di accumulo e alimentazione idrogeno nella sua interezza. In evidenza l'ingrandimento delimitato nel riquadro in tratteggio rosso con la vista di dettaglio del punto di consegna della sezione di erogazione e regolazione. Nel riquadro in rosso con linea continua sono evidenziati il posizionamento e i segnali per la gestione della valvola di regolazione FV04.

4 Sistema di ventilazione

Il sottosistema di ventilazione è costituito da una linea di sfioro con lo scopo di depressurizzare la sezione di erogazione per operazioni di ferma breve dell'impianto mediante ventilazione in zona sicura dell'idrogeno in essa contenuta. La linea di ventilazione è composta da:

- una valvola di intercettazione pneumatica (FV03) normalmente aperta di tipo *fire-safe* dotata di elettrovalvola (24 VDC, ≈10 Watt) e sensori di prossimità (ZSH03 e ZSL03) a sicurezza intrinseca EEXia-IIC-T6 e valvola di non ritorno (NR06);
- un camino di ventilazione che convoglia in atmosfera il gas proveniente dalle valvole di sicurezza (PSV01 e PSV02) e dalla linea di ventilazione.

Il sistema di ventilazione consente anche di esercire il sistema di accumulo e alimentazione evitando l'erogazione di idrogeno alla micro-turbina e, in tal senso, può essere utilmente impiegato per i test preliminari finalizzati alla definizione dei limiti operativi del sistema e alla verifica delle sequenze automatiche implementate nel software del sistema di controllo.

4.1 Valvola pneumatica FV03

La valvola pneumatica **FV03** (**Figura 8**) consente il passaggio dell'idrogeno dalla linea di adduzione alla linea di sfioro in atmosfera. La valvola è azionata mediante la servo-valvola **SV03** che, controllata da remoto mediante segnale digitale, abilita il passaggio dell'aria compressa necessaria a muovere l'attuatore della FV03. La valvola è dotata dei sensori di prossimità **ZSH03** e **ZSL03** che indicano rispettivamente lo stato di completa apertura o completa chiusura della valvola, mediante trasmissione di un segnale digitale assimilabile ad una variabile di tipo booleano, con l'obiettivo di segnalare in modo univoco lo stato della valvola. La mancata coerenza dei segnali di prossimità che, esclusi i transistori di apertura o chiusura della

valvola devono sempre essere di segno opposto, genera una condizione di allarme che segnala l'incoerenza della valvola, ovvero l'impossibilità di definirne in modo univoco lo stato di apertura o chiusura.

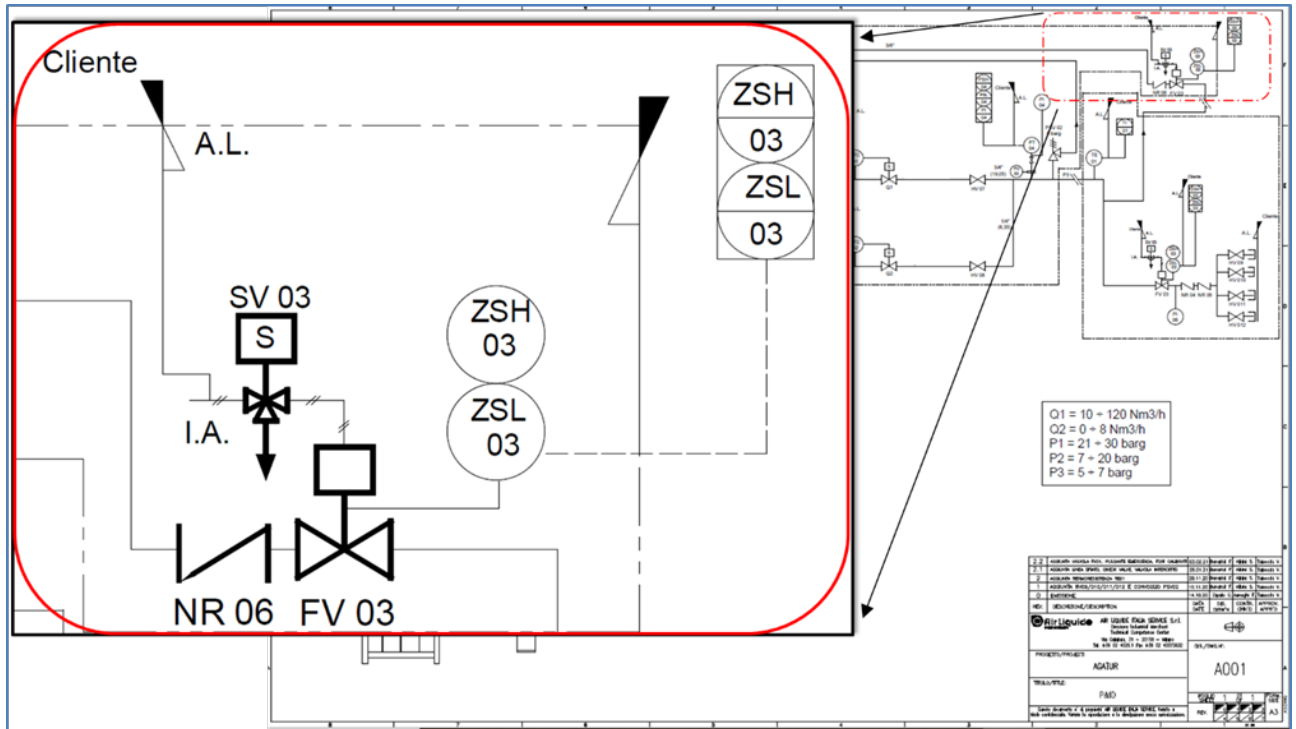


Figura 8. Sullo sfondo il P&ID del sistema di accumulo e alimentazione idrogeno nella sua interezza. In evidenza l'ingrandimento delimitato nel riquadro in tratteggio rosso con la vista di dettaglio del punto di consegna della sezione di erogazione e regolazione. Nel riquadro in rosso con linea continua sono evidenziati i componenti della valvola di regolazione FV03.

5 Dispositivi di sicurezza

Il sistema di accumulo e alimentazione dell'idrogeno è dotato di dispositivi di sicurezza automatici e manuali che intervengono interrompendo repentinamente l'erogazione dell'idrogeno, rispettivamente, senza e con l'intervento dell'operatore. Nel suo complesso la dotazione di dispositivi di sicurezza è costituita da:

- una valvola di sicurezza (PSV01) a 40 barg;
- valvola di sicurezza (PSV02) a 8 barg;
- una valvola di intercettazione pneumatica (FV01) normalmente chiusa di tipo *fire-safe* dotata di elettrovalvola (24 VDC, ~10 W) e sensori di prossimità (ZSH01 e ZSL01) a sicurezza intrinseca EEXia-IIC-T6 comandata da pulsante di emergenza (fungo) situato in area sicura.

5.1 Valvole di sicurezza indipendenti dall'operatore

Le valvole di sicurezza **PSV01** e **PSV02** (Figura 9) sono dispositivi di sicurezza ad attivazione meccanica che si innescano senza l'intervento dell'operatore quando la pressione dell'idrogeno nel tratto di linea a valle del sottosistema di accumulo supera rispettivamente i valori di soglia di 40 barg e 8 barg. La PSV01 è installata immediatamente a valle del sottosistema di accumulo mentre la PSV02 è posizionata immediatamente a monte del punto di consegna dell'idrogeno alla micro-turbina a gas. All'apertura di una delle due valvole la linea viene depressurizzata e il gas viene convogliato in atmosfera mediante il camino Sistema di ventilazione.

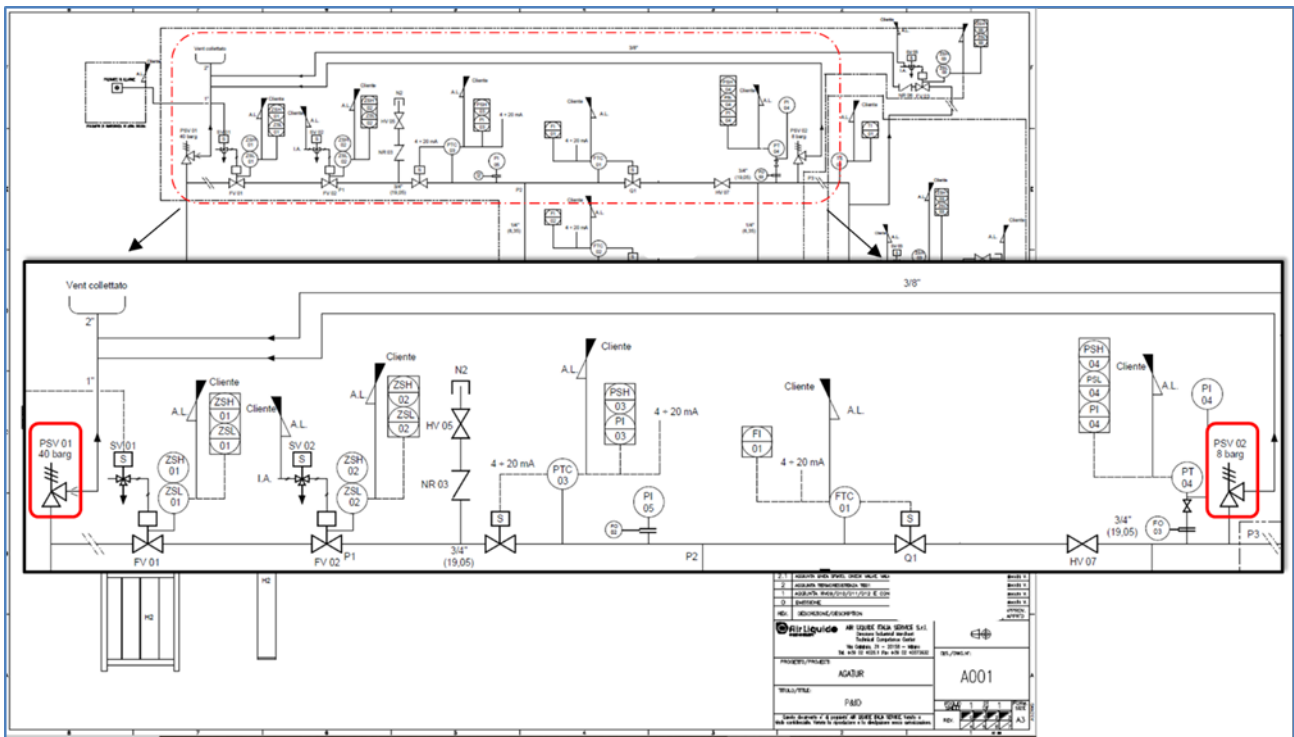


Figura 9. Sullo sfondo il P&ID del sistema di accumulo e alimentazione idrogeno nella sua interezza. In evidenza l'ingrandimento delimitato nel riquadro in tratteggio rosso con la vista di dettaglio della sezione di erogazione e regolazione. Nei riquadri in rosso con linea continua è evidenziato il posizionamento delle valvole di sicurezza PSV01 e PSV02.

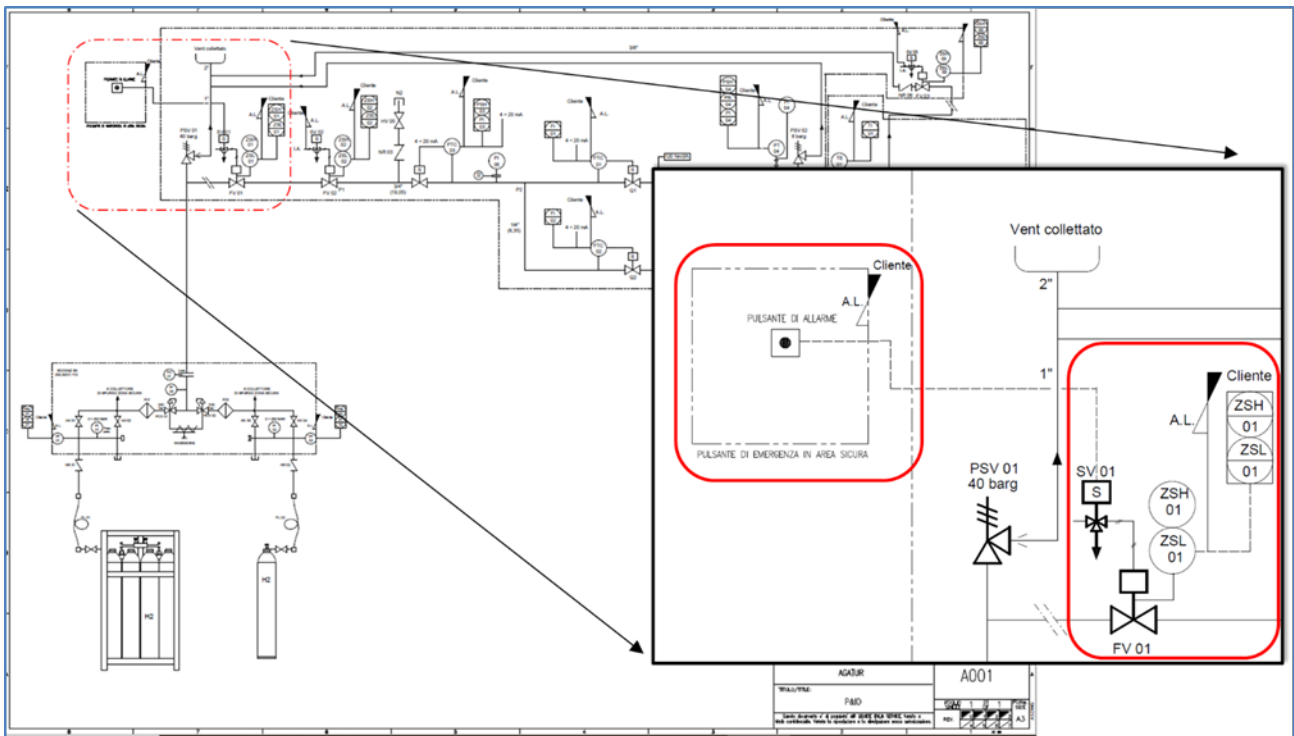


Figura 10. Sullo sfondo il P&ID del sistema di accumulo e alimentazione idrogeno nella sua interezza. In evidenza l'ingrandimento delimitato nel riquadro in tratteggio rosso con la vista di dettaglio del posizionamento della valvola pneumatica FV01. Nel riquadro in rosso con linea continua sono evidenziati il posizionamento e i segnali per la gestione della valvola pneumatica FV01.

5.2 Valvola pneumatica FV01

La valvola pneumatica **FV01** (**Figura 10**) consente il passaggio dell'idrogeno dal sottosistema di accumulo alla linea di adduzione verso la micro turbina a gas. La valvola è azionata mediante la servo-valvola **SV01** che, controllata da remoto mediante segnale digitale, abilita il passaggio dell'aria compressa necessaria a muovere l'attuatore della FV01. La valvola è installata in configurazione normalmente chiusa, ovvero il verificarsi di un qualsiasi evento che interrompe l'alimentazione elettrica alla SV01 causa la chiusura della valvola e l'interruzione l'erogazione dell'idrogeno. Alla valvola è collegato un pulsante di allarme (fungo) installato in zona sicura che, se azionato, interrompe l'alimentazione elettrica della SV01 e blocca l'erogazione dell'idrogeno alla micro turbina a gas. Per abilitare l'erogazione dell'idrogeno interrotta a causa dell'azionamento del pulsante di allarme, quest'ultimo deve essere riarmato da un operatore che ne deve eseguire lo sblocco tramite chiave. La valvola è dotata dei sensori di prossimità **ZSH01** e **ZSL01** che indicano rispettivamente lo stato di completa apertura o completa chiusura della valvola, mediante trasmissione di un segnale digitale assimilabile ad una variabile di tipo booleano, con l'obiettivo di segnalare in modo univoco lo stato della valvola. La mancata coerenza dei segnali di prossimità che, esclusi i transitori di apertura o chiusura della valvola devono sempre essere di segno opposto, genera una condizione di allarme che segnala l'incoerenza della valvola, ovvero l'impossibilità di definirne in modo univoco lo stato di apertura o chiusura. La FV01 si configura come un dispositivo di sicurezza finalizzato alla protezione da eventi imprevisti che scaturiscono nel processo a valle, ovvero sono dovuti all'esercizio sperimentale della micro turbina a gas.

6 Conclusioni

Il documento fornisce le caratteristiche e la descrizione funzionale dei componenti principali del sistema di accumulo e alimentazione idrogeno dell'impianto AGATUR. La conclusione di questa attività precede il completamento dello sviluppo del sistema di controllo, prerogativa essenziale per l'implementazione dei test sperimentali sulla turbina a gas dell'impianto AGATUR in regime di *fuel-flexibility*. In tal senso, le informazioni contenute nel documento rappresentano un sintetico ma indispensabile supporto per l'attività di sviluppo del software di controllo, realizzato *in-house* e attualmente in fase di completamento nella sua prima versione di base.