



Ricerca di Sistema elettrico

Progettazione di massima di un impianto per prove sperimentali di tecnologie per la mini/micro co/tri-generazione

G. Boccardi, A. Franchi, A. Lattanzi, M. Morlacca, G. Petroni, L. Simonetti, R. Trinchieri

PROGETTAZIONE DI MASSIMA DI UN IMPIANTO PER PROVE SPERIMENTALI DI TECNOLOGIE PER LA MINI/MICRO CO/TRI-GENERAZIONE

G. Boccardi, A. Franchi, A. Lattanzi, M. Morlacca, G. Petroni, L. Simonetti, R. Trinchieri (ENEA)

Settembre 2016

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: Utilizzo impianti di conversione di energia di piccola taglia

Obiettivo a.2: Studio con verifica sperimentale di componenti e sistemi per mini/micro co/tri-generazione e sistemi ibridi poligenerativi

Responsabile del Progetto: Gino Boccardi, ENEA

Indice

SOMMARIO.....	5
1 INTRODUZIONE	6
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	7
2.1 IMPIANTO VASIB.....	7
2.1.1 <i>Descrizione funzionamento</i>	8
2.1.2 <i>Pompa di circolazione</i>	10
2.1.3 <i>Sistema scambiatori recuperatori</i>	10
2.1.4 <i>Caldaia elettrica</i>	12
2.1.5 <i>Sezioni di prova</i>	12
2.1.6 <i>Valvola di regolazione</i>	12
2.1.7 <i>Scambiatore finale</i>	13
2.1.8 <i>Serbatoio pressurizzatore</i>	14
2.1.9 <i>Valvole di sicurezza di impianto</i>	14
2.1.10 <i>Filtro meccanico</i>	14
2.1.11 <i>Circuito ausiliario torre evaporativa (TF)</i>	14
2.1.12 <i>SERVIZI E CIRCUITI AUSILIARI</i>	15
2.1.13 <i>Caricamento acqua e controllo livello pressurizzatore</i>	15
2.1.14 <i>Controllo pressione pressurizzatore</i>	15
2.1.15 <i>Altri servizi</i>	16
2.1.16 <i>IMPIANTO ALIMENTAZIONE ELETTRICA</i>	16
2.1.17 <i>Alimentatore elettrico in c.c.</i>	16
2.1.18 <i>Pompe</i>	16
2.1.19 <i>STRUMENTAZIONE</i>	17
2.1.20 <i>Misure di temperatura e di pressione</i>	17
2.1.21 <i>Misure di portata</i>	17
2.1.22 <i>ACQUISIZIONE DATI, REGOLAZIONI E CONTROLLI</i>	18
2.1.23 <i>Software acquisizione e gestione impianto</i>	18
2.1.24 <i>Regolazioni da s/w</i>	18
2.1.25 <i>Allarmi e interventi di sicurezza da s/w</i>	19
2.1.26 <i>Consolle</i>	19
2.1.27 <i>Interventi di sicurezza da consolle</i>	20
2.1.28 <i>Altri interventi di sicurezza</i>	20
2.2 IPOTESI DI CONFIGURAZIONI DELL'IMPIANTO CERCO	21
2.2.1 <i>Implementazione AHP</i>	21
2.2.2 <i>Valutazioni sulla rimozione Wc e Wr</i>	24
2.2.3 <i>Implementazione ORC</i>	25
2.2.4 <i>Implementazione Sistema di Accumulo Termico</i>	27
2.3 DEFINIZIONE CONFIGURAZIONE IMPIANTO.....	29
2.3.1 <i>Valutazione esigenze</i>	29
2.3.2 <i>Circuito VA</i>	31
2.3.3 <i>Circuito Intermedio IE</i>	31
2.3.4 <i>Circuito Rimozione Calore (DC)</i>	34
2.3.5 <i>Circuito Rimozione Freddo (RF)</i>	35
2.3.6 <i>Rimozione Potenza Elettrica (RPE)</i>	36
2.4 ALTRE VALUTAZIONI PRELIMINARI	36
2.4.1 <i>Definizione degli spazi di ampliamento e ipotesi lay-out</i>	36
2.4.2 <i>Adeguamento strumentazione</i>	37
2.4.3 <i>Adeguamento Sistema di Acquisizione e Gestione impianto</i>	40
2.4.4 <i>Interventi meccanici</i>	42
2.4.5 <i>Interventi elettrici</i>	42

3	CONCLUSIONI.....	42
4	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	43
5	ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	43

Sommario

L'impianto da progettare ha lo scopo di provare e qualificare sperimentalmente, in condizioni stabili e ripetibili di input/output, componenti e sistemi proposti per la conversione di fonti di energia, disponibili anche in situazioni di discontinuità; le potenze fanno riferimento alla mini-micro co-trigenerazione (<200 kW) e la fonte di privilegiata è calore di bassa qualità, indicativamente da 50°C a 300°C, non escludendo di principio valori al di fuori di questo range se utili agli scopi generali. L'impianto da realizzare, nel seguito denominato CERCO - *Circuit for Energy Recovery Components*, nasce dall'implementazione e sviluppo di un preesistente impianto (VASIB - *Valvole di Sicurezza in Bifase*) in grado di fornire potenze fino a 140 kW con acqua sottoraffreddata (pressione esercizio 20 bar) e temperature massime intorno ai 200°C. Il lavoro svolto in questa attività ha consentito di individuare i range di prestazioni, intesi come parametri di input per i componenti da testare, ottenibili nel nuovo impianto CERCO con le ipotesi di implementazione proposte.

Nella parte iniziale si è descritto l'impianto VASIB, che fornirà la potenza termica necessaria alle prove, evidenziando sia le modalità di esercizio che le modifiche necessarie per la sua implementazione.

Partendo da queste informazioni e facendo riferimento all'ipotesi di prove su tecnologie di sicuro interesse per la mini-micro co-trigenerazione, quali le pompe di calore ad assorbimento a bromuro di litio a singolo stadio, indicate per il recupero di calore a bassa temperatura, i cicli ORC (Organic Rankine Cycle) per la produzione di energia elettrica e i sistemi di accumulo di calore, e tramite valutazioni tra varie ipotesi possibili, si sono quindi scelti i nuovi circuiti termoidraulici da realizzare e l'architettura di base dell'impianto, individuando in tal modo anche i range di condizioni sperimentali massime ottenibili dall'impianto CERCO.

Si sono inoltre definiti la strumentazione minima dei vari circuiti, i sistemi di regolazione delle grandezze da controllare e l'adeguamento del sistema di acquisizione dati e gestione dell'impianto. Infine è stata presentata l'area dove sarà realizzato il nuovo impianto e gli spazi disponibili.

L'integrazione di questo lavoro con i risultati ottenuti nelle attività del Progetto D.4, in particolar modo le a.1, (scelta delle tecnologie) , a.3 (sistemi di accumulo termico) a.4 (cogenerazione da energia solare con ORC) e b.4 (studio sull'utilizzo scarico pompe di calore a CO₂ per recupero energetico) stabilendo le tecnologie di possibile interesse e i range di prova coerenti agli scopi del progetto, potrà consentire di passare alla progettazione finale dell'impianto.

1 Introduzione

Il progetto D. 4 ha come principale scopo lo sviluppo e la diffusione delle tecnologie per la conversione di energia elettrica in altre forme di energia o di conversione di energia termica, anche solare o ambientale, in energia elettrica, termica e frigorifera, ossia nei vari modi usualmente richiesti (climatizzazione, acqua calda sanitaria, energia elettrica) in edifici abitativi e/o pubblici. La fonte energetica primaria prescelta è la rinnovabile (ambientale o solare) e/o da recupero di cascami termici di bassa qualità. La tipologia delle provenienze (ambientale, recupero di cascami termici) e le finalità di utilizzo (essenzialmente climatizzazione) comporta dover prevedere situazioni di funzionamento di estrema variabilità che determinano difficoltà nel qualificare, sperimentalmente e in maniera confrontabile, sia le singole tecnologie che sistemi più complessi. In questa fase della ricerca, ove si punta alla selezione delle tecnologie più interessanti, è sorta di conseguenza la necessità di disporre di uno strumento che consenta di testare i componenti e i sistemi in maniera il più possibile indipendente dalla aleatorietà delle condizioni al contorno. Per tali motivi si è deciso di realizzare una test-facility che consenta di provare e qualificare, in condizioni reali, i componenti e sistemi selezionati come promettenti nelle altre attività di ricerca previste nel progetto. L'impianto avrà lo scopo di provare e qualificare sperimentalmente, in condizioni stabili e ripetibili di input/output, componenti e sistemi proposti per la conversione di fonti di energia, anche in situazioni di discontinuità. I test sperimentali, caratterizzati da matrici di prova ampie e ripetibili, saranno fondamentali per un più rapido sviluppo dei componenti, consentendo inoltre un corretto confronto tra soluzioni diverse. L'impianto permetterà anche una valutazione sperimentale e la ricerca di una ottimizzazione di sistemi formati da più componenti, simulando le condizioni di funzionamento di interfaccia tra le singole parti del sistema. In tal modo potranno essere testati componenti e sistemi in diverse condizioni di esercizio, anche "limite", senza dover realizzare dimostratori completi "ad hoc" e/o dovere aspettare il realizzarsi di adatte condizioni esterne (inverno/estate) che spesso condizionano i tempi di sviluppo.

L'impianto sarà realizzato utilizzando gran parte di un precedente impianto (VASIB) dedicato alle prove su valvole in efflusso bifase. In tal modo si recupereranno sia il sito sia quei componenti (alimentatore elettrico 0-150 kW in cc, 50 V, 3000 A, e relativa caldaia ad effetto Joule, scambiatori, valvole di regolazione, ecc.) fondamentali per contenerne i costi rispetto a una realizzazione ex novo che risulterebbe più complessa e economicamente onerosa. Questo impianto, insieme ad un ulteriore circuito intermedio, diventerà il "circuito" che, fornendo calore alle condizioni volute ai componenti da provare, sostituirà la fonte di calore reale (cascami termici, solare). Il nuovo impianto, denominato *CERCO* (*Circuit for Energy Recovery Components*) sarà quindi costituito, in linea di massima, dal sussistente impianto VASIB, dal componente/sistema da testare e dai circuiti ausiliari necessari al funzionamento in continua del componente/sistema, come esemplificato nella figura 1.

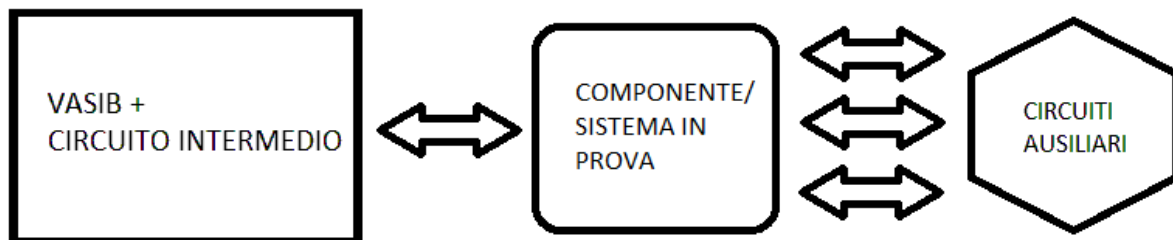


Figura 1 - Schema semplificato Impianto CERCO

Al mutare del componente/sistema potranno variare i relativi circuiti ausiliari. Partendo dalle potenzialità del VASIB, la progettazione definitiva dovrà tenere conto dei dati di input ricavati dalle tecnologie selezionate nelle altre attività del progetto per poter dimensionare al meglio i restanti circuiti.

In attesa delle suddette informazioni (in misura diversa, attività coinvolte sono la a.1, a.3, a.4, b.1, b.4), si procederà a una progettazione di massima che utilizzerà come input le condizioni di riferimento (T max, fluido/i vettori, potenze in gioco, pressioni, ecc.), ricavate dagli aspetti comuni a delle tecnologie già da

adesso ipotizzabili come interessanti. Da ciò discenderà la definizione di un range di riferimento per le prove su alcune tecnologie e un'architettura di base, il più possibile flessibile, da utilizzare per la progettazione definitiva dell'impianto. Queste informazioni saranno implementate/adattate tenendo conto di eventuali ulteriori input provenienti dallo sviluppo dei progetti collegati.

In parallelo si provvederà a verificare ed eventualmente aggiornare alcuni componenti, sistemi e servizi esistenti per adeguarli alle nuove richieste necessarie per l'ampliamento dell'impianto.

In questo documento si presenteranno:

- Una descrizione della parte esistente (circuito VASIB e relativi circuiti ausiliari)
- Una prima valutazione sull'implementazione di alcune tecnologie ritenute di riferimento per la progettazione dell'impianto
- La progettazione di massima della configurazione dell'impianto e una valutazione dei suoi limiti operativi
- La verifica e il conseguente aggiornamento di alcuni componenti, sistemi e servizi esistenti per adeguarli alle nuove richieste necessarie per l'ampliamento dell'impianto.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 Impianto VASIB

La progettazione del preesistente impianto VASIB era stata mirata a conservare, per tutto il tempo desiderato, le condizioni di prova, e quindi la stazionarietà del fenomeno dell'efflusso in bifase, sub-critico e critico in acqua, attraverso dispositivi di sicurezza o componenti di circuito.

Questo obiettivo aveva comportato delle particolari scelte impiantistiche [1] che consentono di:

- a) garantire la pressione e la portata richiesta indipendentemente dalle condizioni di prova;
- b) disporre di una potenza termica modulabile per poter raggiungere e mantenere le condizioni di prova richieste;
- c) regolare la pressione di prova sia in ingresso che in uscita in condizioni di efflusso critico.

Per le prove previste nella presente attività, si prevede di fornire una potenza termica desiderata tramite acqua sottoraffreddata con condizioni di input (T, p, e portata conseguente) controllate e stabili. Come vedremo nei paragrafi seguenti dedicate alle tecnologie da provare, i limiti sulla portata della pompa volumetrica attualmente installata non consentono di fornire completamente queste condizioni, altrimenti direttamente ottenibili dai punti a) e b). L'introduzione di un circuito intermedio, il cui dimensionamento sarà trattato nel § 2.3.3, consentirà di superare in maniera semplice questo limite, con alcune limitazioni in alcune situazioni.

In questo paragrafo, per poter fornire un quadro di riferimento per l'implementazione delle tecnologie da testare, si presenterà dapprima la descrizione di massima dell'impianto VASIB allo stato attuale, prima delle modifiche. Successivamente, dopo aver valutato le necessità e le proposte di modifica e di implementazione legate ai test proponibili per le singole tecnologie, si potrà giungere ad una proposta di architettura dell'impianto CERCO e ad un suo dimensionamento preliminare, comprensivo degli interventi necessari su quello che sarà il *circuito* VASIB.

Si rimarca l'importanza, ai fini della progettazione e utilizzo dell'impianto CERCO, della completa conoscenza dell'impianto VASIB per le problematiche connesse a impianti produttori di acqua pressurizzata (o a basso titolo) tramite caldaia elettrica di potenza significativa (150 kW). Per queste informazioni si rimanda ai riferimenti [1,2,3,4,5].

2.1.1 Descrizione funzionamento

I tre obiettivi di funzionamento precedentemente indicati sono stati ottenuti nel seguente modo:

- utilizzo una pompa volumetrica (VA.PV.01);
- fornitura del calore tramite una caldaia elettrica ad effetto joule (VA.CE.01);
- regolazione della pressione di prova per mezzo di un serbatoio pressurizzato con azoto (VA.SP.01) e una valvola di regolazione (VA.VR.01).

Rimandando al rif. [1] per approfondimenti sulla progettazione termoidraulica dell'impianto VASIB, in questo paragrafo verranno descritte, con riferimento allo schema di figura 2, le caratteristiche essenziali dei principali componenti dell'impianto nella sua versione attuale con le catene di misura attualmente presenti. Nello schema è riportato anche il circuito relativo alla torre evaporativa (TF), di servizio al circuito principale.

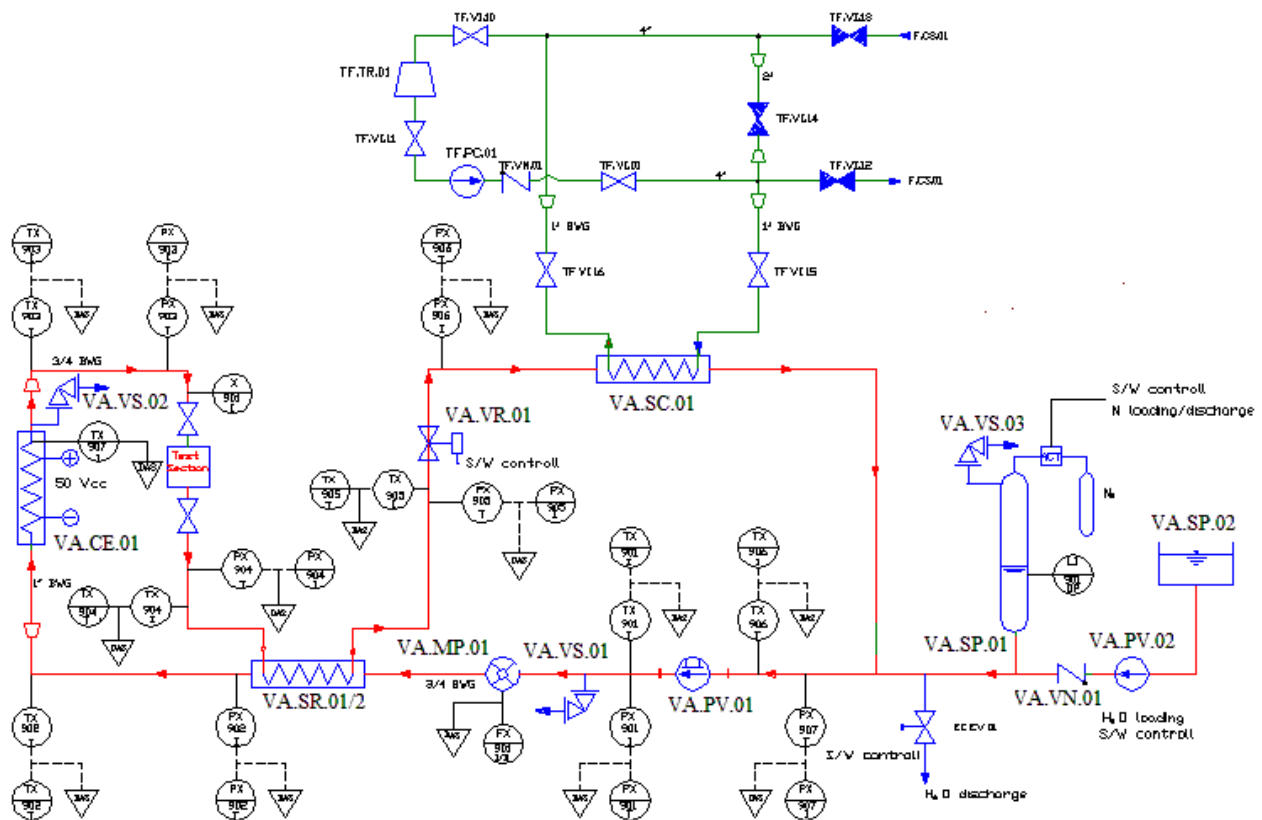


Figura 2 - Schema impianto VASIB

Innanzitutto si fa notare che, in mancanza di una pompa volumetrica adatta per le alte temperature, la configurazione dell'impianto è condizionata dal limite di temperatura in ingresso, max 50°C, della VA.PV.01. Per tale motivo il circuito è dotato di un sistema di due scambiatori in serie (VA.SR.01,02) per il recupero del calore altrimenti da smaltire, dimensionati per le prove in bifase [1], e di uno scambiatore di sicurezza (VA.SC.01) asservito a una torre evaporativa (circuito ausiliare TF) inserito prima dell'ingresso nella pompa volumetrica.

Nella versione iniziale, il circuito permetteva il raggiungimento e il mantenimento delle condizioni di prova previste direttamente nel componente sottoposto alle prove, (in seguito definito come SdP); schematicamente il processo si svolgeva attraverso le seguenti fasi:

1. l'acqua sottoraffreddata esce dalla pompa volumetrica VA.PV.01 alla pressione e portata desiderate;
2. attraversa il sistema dei due scambiatori (VA.SR.01,02) dove recupera gran parte della potenza termica del fluido in uscita della SdP avvicinandosi il più possibile alle condizioni di prova previste (il limite teorico è dato dalla temperatura di uscita dalla SdP);
3. passa per la caldaia VA.CE.01 in cui riceve il calore necessario per raggiungere la temperatura richiesta (se necessario si può anche ottenere vapore fino a titolo del 10%);
4. evolve nella SdP, dove fornisce W termica prevista per la prova con conseguente diminuzione della pressione e della temperatura;
5. attraversa l'altro lato del sistema di recupero VA.SR.01;
6. passa per la valvola di regolazione VA.VR.01 che consente una regolazione fine della pressione, controllata essenzialmente dal VA.SP.01;
7. se necessario, viene raffreddata nello scambiatore VA.SC.01, tramite l'acqua del circuito torri, fino a temperature accettabili per l'ingresso nella pompa VA.PV.01.

Il serbatoio in pressione VA.SP.01 ha il compito sia di regolare la pressione di aspirazione della pompa, e quindi di contribuire al controllo della pressione di prova, che di assorbire le variazioni del volume dell'acqua nel circuito (dilatazioni termiche e variazioni del titolo).

Nella figura 3 si è indicata la zona di possibile collegamento al circuito intermedio.



Figura 3 – Immagine impianto VASIB

Nei paragrafi successivi verranno presentate le principali caratteristiche dei componenti dell'impianto VASIB.

2.1.2 Pompa di circolazione

La pompa di circolazione VA.PV.01 è del tipo volumetrico, a tre cilindri, con regolazione della portata tramite un gruppo riduttore che agisce sul numero di giri trasmesso dal motore elettrico agli ingranaggi che stabiliscono la velocità dei pistoni; il campo di portata ottenibile va da 270 a poco oltre i 1500 dm³/h, con una pressione massima di 50 bar e una potenza elettrica assorbita di 7.5 kW. In fig. 4 è mostrata insieme alla pompa di carico acqua VA.PV.02.

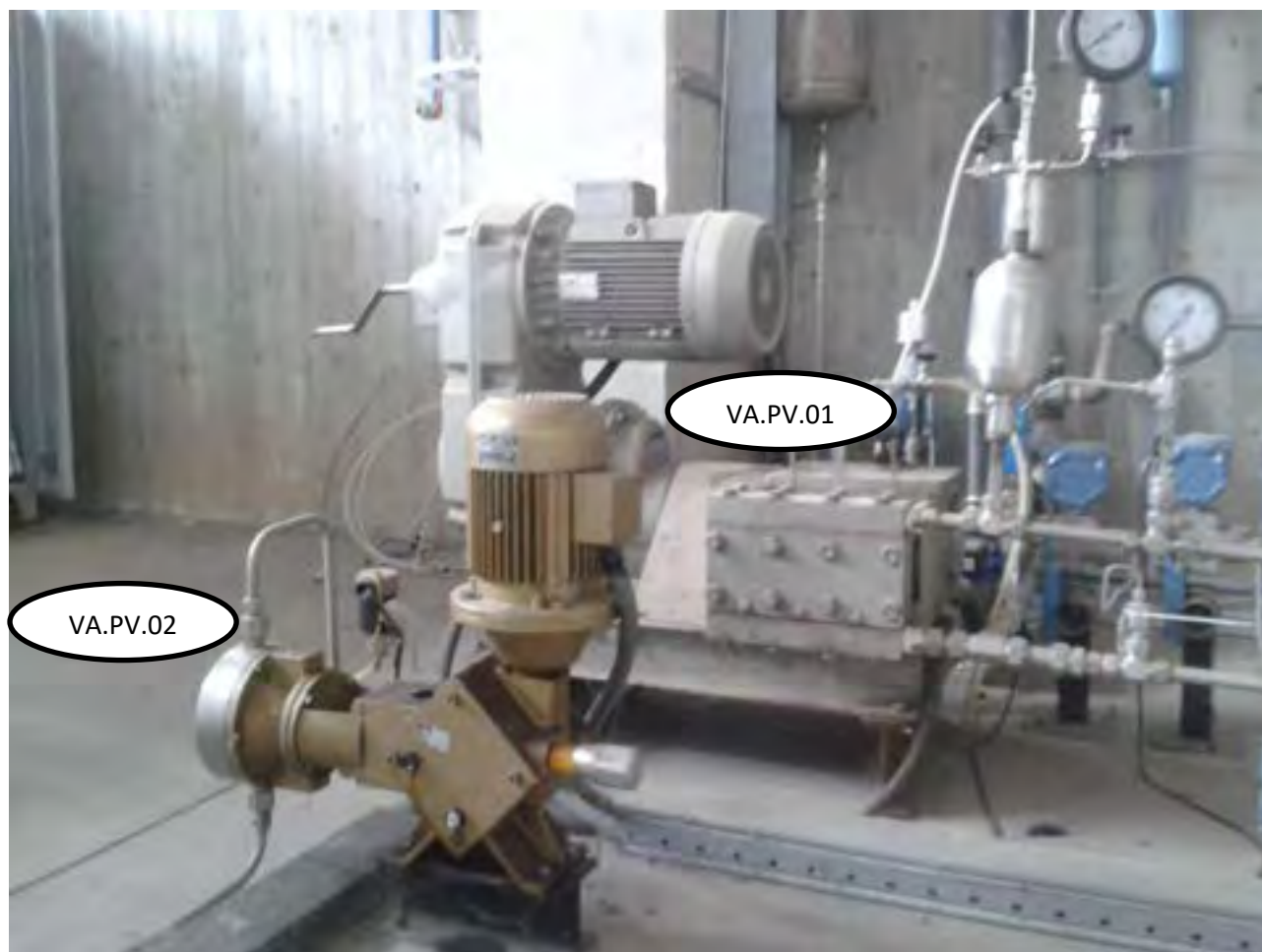


Figura 4 –pompa di carico acqua e pompa di circolazione

Il fluido di ingresso alla pompa, per problemi sui materiali della tenuta, non può superare i 50°C; inoltre, sempre per evitare surriscaldamenti sulle baderne, è consigliato di evitare un serraggio eccessivo. La conseguente piccola perdita di acqua sulle tenute durante il funzionamento è reintegrata automaticamente nel vaso di espansione tramite la pompa di carico VA.PV.02 che ne controlla il livello.

2.1.3 Sistema scambiatori recuperatori

Per quanto detto sui limiti di esercizio della pompa volumetrica, l'inserimento nel ciclo del nostro circuito di un sistema per il recupero del calore (VA.SR.01,02), costituito da due scambiatori gemelli in serie, ha lo scopo di limitare la potenza richiesta alla caldaia per ogni prova riducendo la potenza smaltita prima dell'ingresso VA.PV.01 tramite lo scambiatore finale collegato alla torre evaporativa (la W fornita è quella

richiesta dal funzionamento del componente in prova, più le dispersioni termiche e la W residua rimossa dal circuito TF).

In tal modo si riducono inoltre le dimensioni dello scambiatore finale contenendo anche la capacità della torre evaporativa asservita. Quindi questo sistema consente, pur con il limite della bassa temperatura accettabile in ingresso pompa volumetrica, a parità di potenza disponibile, di poter sfruttare al meglio la potenza della caldaia.

Gli scambiatori installati, figura 5, sono in acciaio, del tipo compatto a piastre, dimensionati per perdite di carico molto basse, qualche decimo di bar per portata massima di 1500 kg/h e titolo di ingresso del 20%, condizioni al limite di esercizio dell'impianto. La superficie di scambio è di 2.06 m² per una pressione di progetto di 24.5 bar.



Figura 5 - scambiatori recuperatori

2.1.4 Caldaia elettrica

La caldaia elettrica VA.CE.01 è stata realizzata utilizzando un tubo in acciaio 1" BWG AISI 316 riscaldato per effetto Joule da una corrente continua a bassa tensione (0-50 V). Per il suo dimensionamento si è dovuto tener conto di diversi fattori quali:

- 1) la necessità di sfruttare al meglio le prestazioni dell'alimentatore (max 50 V c.c. a 3000 A); ciò significa che, in pratica, si è dovuto cercare di realizzare, con tubi commerciali, quella resistenza teorica, pari a V_{max}/I_{max} , che permetta di sfruttare completamente le potenzialità dell'alimentatore. I parametri di dimensionamento sono quindi lo spessore e la lunghezza del tubo oltre alla possibilità di suddividere elettricamente la caldaia in tratti alimentati in serie o in parallelo;
- 2) l'influenza della variazione della temperatura sulla resistenza elettrica e, quindi, sulle prestazioni del componente; considerando l'ampio range di temperature previste per le prove, tale fenomeno comporta che, dimensionando la caldaia come detto al punto precedente per le due temperature estreme di progetto, si ottengono variazioni dell'ordine del 10% sulla sua lunghezza;
- 3) l'evitare di funzionare in condizioni di flusso termico critico; questo fenomeno, come noto, è influenzato da diversi parametri tra cui la temperatura di sottoraffreddamento iniziale, il titolo di uscita, la geometria del condotto e la portata specifica del fluido. Anche in questo caso l'ampio campo di prove previsto, con titoli di progetto variabili da 0% a 20% e portate da 280 Kg/h a 1500 Kg/h, le diverse prestazioni del recuperatore e quindi del grado di sottoraffreddamento iniziale, hanno consigliato di effettuare uno studio preliminare per valutare l'instaurarsi o meno delle condizioni di criticità.

Il dimensionamento sia termoidraulico che dell'alimentazione elettrica è stato quindi frutto di un compromesso delle esigenze suddette; in particolare, per quanto riguarda il calcolo del flusso termico critico, si sono utilizzate le correlazioni di cui al rif. [6].

Da ricordare, infine, che le modalità di alimentazione elettrica prescelta con un solo ramo in serie, ha comportato l'installazione di una flangia isolata elettricamente ad una estremità del componente, in prossimità del morsetto positivo (figura 6) per evitare il passaggio di corrente nel resto del circuito.

2.1.5 Sezioni di prova

Le esperienze svolte in precedenza facevano parte di un progetto per lo studio dell'efflusso in bifase attraverso diverse geometrie, a partire da quelle più semplici (convergente-divergente) fino alla valvola di sicurezza reale, svolto per testare e sviluppare correlazioni necessarie per il loro dimensionamento in queste particolari condizioni. In quest'ottica sono state inoltre eseguite ulteriori esperienze per lo studio delle perdite di carico in bifase.

Per quanto riguarda le nuove attività, il circuito VASIB sarà parte dell'impianto CERCO, utilizzato esclusivamente per fornire il calore alle condizioni richieste ai componenti da testare, come già detto nell'introduzione.

2.1.6 Valvola di regolazione

L'installazione di una valvola di regolazione a valle della SdP è essenzialmente dovuta alle necessità di:

- a) disporre di una regolazione ulteriore, oltre a quella disponibile tramite il controllo della pressione nel pressurizzatore, per poter variare le condizioni di prova;
- b) verificare il raggiungimento delle condizioni di efflusso critico.

La valvola di regolazione motorizzata installata VA.VR.01 ha caratteristiche tali da permettere un'eccellente precisione di funzionamento e di stabilità di regolazione. Il CV della valvola e l'elevata *rangeability* (2.9 e 50) consentono di poter disporre, per ogni condizione di esercizio, di un Δp minimo di 0.5 bar, necessario per eseguire prove a contropressione variabile. Chiaramente, già per portate leggermente superiori, l'uso della valvola permette escursioni di pressione notevolmente maggiori.

Questi bisogni ovviamente riguardavano le attività precedentemente svolte; per le attività attualmente previste non si prevede il suo impiego tranne per eventuali necessità di esercizio. Per completezza si ricorda che la regolazione dell'apertura della valvola è affidata, tramite l'impiego di un'opportuna interfaccia, al s/w del sistema d'acquisizione e controllo dell'impianto VASIB.



Figura 6 –Caldaia elettrica con barre di alimentazione e flangia isolata

2.1.7 Scambiatore finale

Si è utilizzato uno scambiatore disponibile in Laboratorio (VA.SC.01) a tubi concentrici, di superficie (circa 0.7 m^2) sufficiente allo scopo di garantire in ingresso pompa una temperatura inferiore ai 50°C ; il fluido di processo scorre lato tubo mentre il lato mantello è collegato al circuito torre di raffreddamento che provvede alla rimozione del calore. Solamente in condizioni estive, quando la temperatura dell'acqua dalla torre può superare i 35°C , e per potenze elevate ci si è avvicinati alla temperatura limite per la pompa volumetrica.

Questo componente ovviamente sarà utilizzato, per gli stessi scopi, anche per le nuove prove previste; come già accennato, operando in condizioni di fluido sottoraffreddato, si ipotizza un potenza limitata da smaltire alla torre.

2.1.8 Serbatoio pressurizzatore

Il componente VA.SP.01 in questione svolge i seguenti compiti:

- 1) tramite un opportuno sistema di immissione o scarico di azoto, consente il controllo della pressione in aspirazione pompa e quindi il raggiungimento e mantenimento delle condizioni di prova;
- 2) fornisce un volume libero per assorbire le variazioni della densità del liquido di processo al variare del titolo, della temperatura e della pressione.

E' evidente che la variazione del volume e della pressione siano direttamente collegati, in particolare se si lavora con fluido in bifase.

Il serbatoio è posto in aspirazione della pompa, sollevato di circa 2 m per mantenere un battente di liquido su VA.PV.01.

Anche questo componente è funzionale all'esercizio del circuito VASIB per le nuove attività, anche se, non lavorando in bifase, le variazioni di volume saranno più contenute e meno rapide.

2.1.9 Valvole di sicurezza di impianto

L'impianto è progettato per funzionare a una pressione massima di 24 bar; poiché in corrispondenza di alcuni componenti tale valore può essere accidentalmente superato, occorre prevedere nei tratti corrispondenti delle valvole di sicurezza che preservino il circuito e gli operatori da situazioni di rischio.

In particolare sono già presenti le seguenti valvole di sicurezza:

- 1) VA.VS.01 in uscita pompa (la pompa volumetrica può fornire una prevalenza superiore ai 24 bar e, quindi, un'ostruzione o una chiusura accidentale di una valvola dell'impianto potrebbe portare a pressioni elevate in mandata pompa);
- 2) VA.VS.02 in uscita caldaia: protegge l'impianto da un malfunzionamento o un errore sulla gestione di questo componente che potrebbe portare, data anche la vicinanza della strozzatura nella sezione di passaggio in corrispondenza della SdP, a una rapida ed eccessiva produzione di vapore con conseguente aumento locale della pressione;
- 3) VA.VS.03 sul vaso pressurizzatore allo scopo di intervenire immediatamente nel caso di un errore del sistema di pressurizzazione o per un cattivo funzionamento del controllo di livello nel vaso stesso.

Il fluido in uscita della valvola VA.VS.02, potendo essere ad alta temperatura e in vapore surriscaldato, sarà intubato fino a uno scarico libero in condizioni di sicurezza.

2.1.10 Filtro meccanico

Il filtro meccanico VA.FM.01 è installato in aspirazione VA.PV.01 e garantisce un adeguato grado di pulizia dell'acqua di processo necessario per il corretto esercizio dell'impianto; si ricorda comunque che nel circuito principale viene utilizzata acqua demineralizzata.

2.1.11 Circuito ausiliario torre evaporativa (TF)

Questo circuito ha il compito di asportare il calore dallo scambiatore VA.SC.01 e cederlo all'ambiente tramite una torre evaporativa (TF.TR.01). Per tale scopo si utilizza un circuito realizzato nella hall dell'edificio T.21 e sul tetto di un edificio servizi adiacente (figura 7).

Il circuito, oltre ai usuali componenti previsti (pompa, valvole di intercettazione, ecc.), comprende un ramo di by-pass con valvola di regolazione manuale e una valvola di regolazione ad attuatore elettrico allo scopo di ridurre al minimo l'asportazione di calore necessario per mantenere la Tin VA.PV.01 minore a 50 °C, riducendo così la potenza necessaria della caldaia elettrica. Il circuito sarà adeguatamente strumentato per garantire il corretto funzionamento della torre e dell'impianto.



Figura 7 – Torre evaporativa

2.1.12 SERVIZI E CIRCUITI AUSILIARI

Oltre ai circuiti precedentemente descritti, per il corretto funzionamento dell'impianto sono necessari altri servizi e circuiti ausiliari. Di seguito ne verrà data una sommaria descrizione.

2.1.13 Caricamento acqua e controllo livello pressurizzatore

Per la gestione della quantità di acqua presente nel circuito si sono dovuti affrontare i seguenti problemi:

- 1) compensare le variazioni di volume specifico del fluido legate sia alle escursioni di temperatura e pressione che, soprattutto, alla produzione di vapore;
- 2) sopperire alla piccola perdita di acqua attraverso le tenute della pompa;
- 3) evitare di realizzare un serbatoio di notevoli dimensioni che avrebbe comportato, data la pressione di progetto, sia problemi di progettazione (costi e normative da rispettare) che di dimensionamento del sistema di regolazione della pressione dell'azoto (grandi volumi da trattare).

Si è quindi optato per la realizzazione di un sistema di controllo "attivo", composto da una elettrovalvola (VA.EV.01) per lo scarico del sovrappiù di acqua e da una pompa di caricamento ad alta pressione (VA.PV.02), collegata a un serbatoio di acqua demineralizzata, per il reintegro; l'intervento di questi componenti è automatico e avviene su segnale di livello del serbatoio.

2.1.14 Controllo pressione pressurizzatore

Il sistema in oggetto è costituito da:

- 1) una batteria di bombole di azoto;
- 2) un riduttore di pressione;

- 3) una elettrovalvola di intercettazione sul ramo di collegamento al serbatoio pressurizzatore;
- 4) una elettrovalvola di intercettazione sul ramo di scarico dal pressurizzatore.

Un segnale di pressione, proveniente dalla aspirazione pompa, dà i consensi all'apertura e chiusura automatica delle due elettrovalvole.

2.1.15 Altri servizi

Il normale funzionamento dell'impianto è garantito dalla presenza di altri servizi quali:

- 1) acqua demineralizzata;
- 2) aria compressa;
- 3) acqua di rete.

2.1.16 IMPIANTO ALIMENTAZIONE ELETTRICA

Nei successivi paragrafi sono descritte brevemente le caratteristiche delle utenze collegate e le principali informazioni sulle modalità di allacciamento all'esistente impianto elettrico dell'edificio.

2.1.17 Alimentatore elettrico in c.c.

L'alimentatore elettrico è la principale utenza elettrica prevista sull'impianto (figura 8); come già detto ha la funzione di fornire la corrente elettrica in continua necessaria ad alimentare la caldaia elettrica ad effetto Joule VA.CE.01 installata sull'impianto.

L'alimentatore ha una potenza nominale di 150 kW, a 50 V e 3000 A; esso viene alimentato a 380 V in trifase, tramite interruttori e sezionatori dedicati, dalla linea del Centro Ricerche Casaccia.

E' dotato di interventi di sicurezza per massima corrente e tensione, di indicatori locali delle grandezze elettriche con uscite per acquisizioni remotizzate, di comandi locali e remotizzabili di avviamento e regolazione; è prevista la regolazione sia tramite la corrente da 0-3000 A che la tensione da 0-50 V.

Il collegamento alla caldaia elettrica è realizzato con barre di rame di sezione 100x10 mm, una per il polo positivo e una per il negativo, alloggiare in opportune canalette di protezione, che vanno a collegarsi, tramite delle trecce flessibili in rame, a due morsetti in rame saldobrasati sulla caldaia; per evitare il passaggio della corrente al di fuori della caldaia, il polo positivo è isolato nel verso opposto alla caldaia, tramite flangia isolante di opportune caratteristiche. Il circuito è dotato di cavi per il corretto collegamento a terra.

Infine, grazie all'installazione d'apposite schede elettroniche e all'ottimizzazione degli interventi PID (proporzionale, integrale e derivativo) nella regolazione automatica di potenza, l'elettronica di controllo dell'alimentatore elettrico è in grado di garantire una adeguata stabilità nell'erogazione della potenza elettrica alla caldaia.

2.1.18 Pompe

Nel circuito sono attualmente previste le pompe di circolazione VA.PV.01 e di caricamento VA.PV.02; esse sono alimentate tramite degli interruttori situati in un quadretto locale. La pompa del circuito torri di raffreddamento TF.PC.01 è collegata ad un impianto elettrico già esistente.



Figura 8 –Alimentatore elettrico in cc e barre di alimentazione caldaia elettrica

2.1.19 STRUMENTAZIONE

L'impianto VASIB è stato dotato della strumentazione necessaria sia all'acquisizione di tutti quei parametri utili alla valutazione dei fenomeni riprodotti che alla corretta gestione in sicurezza dell'intero processo.

Le particolari condizioni di esercizio previste per le prove precedenti (in bifase e/o in efflusso critico), le alte potenze termiche in gioco rispetto alle portate, la possibilità dell'insorgenza di fenomeni particolari quali la crisi termica in caldaia, hanno comportato l'acquisizione dei valori di pressione e temperatura in un gran numero di punti dell'impianto allo scopo di fornire tutte le informazioni necessarie sia per il corretto esercizio che per la sicurezza dell'impianto. Nel seguito saranno fornite le principali informazioni sui sensori utilizzati.

2.1.20 Misure di temperatura e di pressione

Le misure di temperatura e di pressione sono previste all'ingresso ed all'uscita di tutti i principali componenti come mostrato in figura 2. Come sensori di temperatura si sono utilizzati delle termoresistenze per la loro maggiore affidabilità; solamente per due misure, temperatura superficiale del tubo della caldaia e del fluido in uscita sezione di prova, si è fatto ricorso ad una termocoppia. La pressione è invece rilevata tramite dei trasmettitori di tipo capacitivo. Per avere una misura più accurata del Δp sui componenti in prova, è disponibile un misuratore di pressione differenziale. Per un elenco delle principali caratteristiche di esercizio della strumentazione disponibile si rimanda alla rif [1].

2.1.21 Misure di portata

La portata dell'acqua circolante nel circuito è rilevata tramite uno strumento che sfrutta l'effetto delle forze di Coriolis per calcolare direttamente la portata in massa del fluido che l'attraversa; questo tipo di

misuratore permette una buona precisione di misura eliminando inoltre, rispetto ai misuratori di portata in volume, la necessità di calcolare a parte la densità del fluido.

La portata lato circuito torre evaporativa allo scambiatore VA.SC.01 non viene invece acquisita; a salvaguardia di un corretto esercizio dell'impianto è stato posto un flussostato che interviene in caso di portata insufficiente su tale circuito.

2.1.22 ACQUISIZIONE DATI, REGOLAZIONI E CONTROLLI

I valori rilevati dai sensori vengono utilizzati sia per una corretta gestione del processo sia per l'acquisizione dei dati; normalmente l'acquisizione viene affidata ad un software dedicato mentre la gestione è effettuata tramite regolatori, strumentazione e interventi in consolle. Nella progettazione e realizzazione della sistema (SA) attualmente presente, già in un'ottica di sviluppo della informatizzazione nel controllo e gestione di impianti di sperimentazione termoidraulica, si era voluto, senza dover acquistare hardware e software all'epoca altamente specializzato per tale impiego, far intervenire il software anche su alcune regolazioni e controlli, ferma restando la sicurezza del circuito. Per ottenere questi risultati salvaguardando la sicurezza dell'impianto, si era proceduto come segue:

- realizzazione in consolle di una logica di intervento per il blocco in sicurezza dell'impianto;
- individuazione di tutte le grandezze direttamente o indirettamente indicatrici di malfunzionamenti;
- affidare al programma s/w il primo livello di sicurezza con logiche di controllo che portano, dopo che si è superato il livello di allarme, a far intervenire, tramite segnali in uscita, la logica di intervento della consolle;
- si erano duplicati tutti gli interventi di fondamentale importanza sia con strumenti locali in consolle che tramite pressostati e termostati in campo.

L'hardware del sistema è costituito da un PC commerciale implementato con schede di input/output dedicate all'acquisizione di segnali e all'uscita di grandezze di regolazione e intervento.

Allo stato attuale la fase di "sperimentazione" nel SA è abbondantemente superata e, di contro, sarà necessario la sostituzione di tutto l'h/w e s/w per adeguarlo alla tecnologia attuale e consentirne l'ampiamiento per la nuova parte di impianto da realizzare.

Dell'aggiornamento di questi aspetti si parlerà in seguito nei paragrafi dedicati; nei paragrafi seguenti si descrive la situazione attualmente esistente per avere il riferimento per i successivi aggiornamenti.

2.1.23 Software acquisizione e gestione impianto

Attualmente è installato un programma realizzato su software Labview (prodotto dalla National Instruments) che consente l'acquisizione sia dei dati direttamente provenienti dai sensori che, in parallelo, delle grandezze derivate di interesse calcolate dal programma. Il software permette inoltre la presentazione in tempo reale con una grafica adattabile alle esigenze dell'operatore, di tutti i parametri di impianto, sia diretti che elaborati, quali potenza, titolo, densità, ecc.

2.1.24 Regolazioni da s/w

Il sistema dispone al momento di una scheda con sei uscite digitali e due analogiche: una uscita analogica è utilizzata per governare manualmente, tramite uno strumento s/w che realizza un regolatore PID, la valvola di regolazione dell'impianto mentre quattro uscite digitali comandano, tramite elaborazione da s/w dei segnali di pressione e livello provenienti dal circuito, l'apertura e chiusura di tre elettrovalvole (carico/scarico azoto e scarico liquido per alto livello nel serbatoio EC.SP.01) e l'avviamento e spegnimento della pompa di reintegro. Queste ultime regolazioni avvengono in automatico, previa impostazione dei valori di soglia (bassa e alta pressione azoto, alto e basso livello nel serbatoio in pressione) da parte dell'operatore.

Nella tabella 1 sono descritte le principali caratteristiche delle regolazioni previste sul circuito VASIB che saranno conservate anche per l'implementazione nell'impianto CERCO.

Tabella 1 - Regolazioni impianto VASIB

<u>Sigle Sensori</u>	<u>Grandezza misurata</u>	<u>Regolazione</u>	<u>Intervento</u>	<u>Tipo</u>	<u>Modalità</u>
TX 901	T _{in} EC.SR.01	W recuperata	Regolazione portata acqua torre ingresso VA.SC.01 (l.m.)	Manuale in campo	Regolazione da TF.VI.15
TX 902,903 PX 902,903 V, I	Proprietà fisiche fluido ingresso SdP	Potenza alimentatore elettrico	Regolazione tensione o corrente Alimentatore Elettrico	Manuale remotiz.	Potenzimetri a quadro
TX 906 T	T _{in} VA.PV.01	controllo T _{max}	Regolazione portata acqua torre ingresso VA.SC.01 (l.m.)	Manuale in campo	Regolazione da TF.VI.15
PX 906 T	P _{out} VA.VR.01	controllo pressione prova	Regolazione apertura valvola ⁽¹⁾	Manuale da s/w	s/w; uscita analogica
PX 907 T	P _{in} VA.PV.01	contr. pressione pressurizzatore	Carico/scarico azoto con apertura/chiusura di due valvole elettriche ⁽²⁾	Automat. da s/w ⁽³⁾	s/w; 2 uscite digitali
FRX 901	Portata H ₂ O (liq.)	calcolo W _{scam.}	Regolazione giri riduttore pompa	manuale in campo	Regolazione volantino pompa
LI 901	Liv. VA.SP.01	Livello pressuriz. L/H	Carico da VA.PV.02 Scarico da VA.EV.01 ⁽⁴⁾	Automat. da s/w	s/w; 2 uscite digitali

⁽¹⁾ In caso di mancanza alimentazione elettrica o pneumatica le valvole rimangono nella posizione impostata.

⁽²⁾ Le elettrovalvole si chiudono in assenza di segnale.

⁽³⁾ Il valore di set point e le soglie di min. e max. sono fornite all'inizio della prova ed eventualmente cambiate durante il corso della stessa.

⁽⁴⁾ L'elettrovalvola si chiude in assenza di segnale.

2.1.25 Allarmi e interventi di sicurezza da s/w

Nel programma s/w è stata realizzata una routine che, per ogni scansione, tramite una valutazione comparativa dei dati rilevati o elaborati con dei valori di soglia impostati dall'operatore, valuta l'insorgere di situazioni di pericolo per il corretto funzionamento dell'impianto; in caso positivo procede a segnalare la situazione sul monitor.

Nel caso in cui non sia possibile alcun intervento per il rientro nel normale funzionamento, al superamento dei valori di intervento, il s/w provvede ad inviare, tramite due uscite digitali della scheda di cui al § precedente, dei segnali che provvedono allo spegnimento in emergenza dell'impianto. Questa logica sarà mantenuta ed evoluta, con il nuovo h/w disponibile, ed integrata per i nuovi circuiti implementati.

2.1.26 Consolle

Nell'ottica di quanto detto in precedenza, pur presentandosi in forma ridotta rispetto ad una configurazione più tradizionale, la consolle restava un componente essenziale per la gestione e la sicurezza dell'impianto; infatti, oltre ad avere la funzione di raccogliere e distribuire tutti i cavi della strumentazione, dava i consensi per l'alimentazione di tutte le utenze sia di potenza che di strumentazione dell'impianto, mantiene la regolazione e il controllo di alcune variabili di processo e gestisce la logica degli interventi in emergenza oltre a interfacciare, previa conversione, i segnali da campo con il s/w.

Nel nuovo impianto CERCO si procederà a realizzare dei quadri di controllo ulteriormente semplificati, eliminando tutte le indicazioni e regolazioni locali affidandole, tranne eventuali eccezioni legate a particolari situazioni, al nuovo h/w e s/w.

2.1.27 Interventi di sicurezza da consolle

A completamento di quanto detto precedentemente, la logica di intervento realizzata in consolle prevedeva i seguenti due tipi di intervento:

- 1) distacco della sola potenza elettrica in caldaia mantenendo attiva la circolazione delle pompe;
- 2) distacco della potenza elettrica in caldaia e, con ritardo di 10 s, della pompa di circolazione.

Il primo tipo di intervento è legato al crescere di variabili direttamente legate alla potenza in gioco, il secondo a quelle grandezze che possono portare ad incrementi non controllabili della pressione.

Il ritardo nel distacco della pompa è un compromesso tra la necessità (cautelativa) di smaltire l'inerzia termica del circuito (in particolare della caldaia elettrica) e il diminuire rapidamente la pressione nell'impianto; scegliendo questa soluzione, associata a valori di intervento cautelativi rispetto alla taratura delle valvole di sicurezza, si limitano i problemi inerenti una rapida depressurizzazione (mancando la circolazione tutto il circuito tenderebbe a portarsi alla pressione imposta dal pressurizzatore). Un'ulteriore cautela consiste, sfruttando la disponibilità degli interventi raddoppiati da s/w, nel porre l'intervento da s/w sempre di tipo 1) e con soglia anticipata rispetto all'altro.

Queste logiche, saranno mantenute ed rivisitate per l'utilizzo del circuito VASIB nell'impianto CERCO, con una eventuale verifica rispetto ai nuove situazioni di esercizio e affidando gli interventi al nuovo sistema di acquisizione e gestione.

2.1.28 Altri interventi di sicurezza

Il circuito è dotato di tre pressostati e un termostato posizionati nei possibili punti critici; la loro filosofia di intervento si rifà a quanto detto sopra. Nella tabella 2 sono indicate le loro principali caratteristiche; in fase di dimensionamento definitivo dell'impianto CERCO sarà valutato l'inserimento di altre protezioni e l'implementazione di quelle eventuali presenti sui componenti da testare, oltre ad eventualmente rivedere i valori di allarme e intervento degli attuali.

Tabella 2 – Interventi di sicurezza circuito VASIB

Grandez. misurata	Sensore	Intervento da:	Valori		Tipo/ Disl.	note
			allarme	blocco		
T _{in} SdP	TX 904 T	s/w	210 °C	215 °C	A/R	(1)
	Termostato	Termostato		230 °C	A/L	(1)
T _{in} VA.PV.01	TX 906 T	s/w	40 °C	45 °C	A/R	(1)
	“ “	Indicatore Cons.		50 °C	A/R	(2)
P _{out} VA.PV.01	PX 901 T	s/w	20 bar	22 bar	A/R	(1)
	Pressostato	Pressostato		23 bar	A/L	(2)
P _{in} SdP	PX 911 T	s/w	20 bar	22 bar	A/R	(1)
	Pressostato	Pressostato		23 bar	A/L	(2)
P _{in} VA.PV.01	PX 907 T	s/w	1.2 bar	0.6 bar	A/R	(1)
	“ “	Indicatore Cons.		0.5 bar	A/R	(2)
Portata H ₂ O (liq.)	FRX 901	s/w	0.02 kg/s	0.01 kg/s	A/R	(1)
Liv. VA.SP.01: L H	DP 901	s/w	10 cm H ₂ O	5 cm H ₂ O	A/R	(2)
		s/w	50 cm H ₂ O			(2)
Tens. VA.CE.01		s/w	50 V	52 V	A/R	(1)
		Blocco alim. c.c.		60 V	A	(1)
Corr. VA.CE.01		s/w	2600 A	3000 A	A/R	(1)
		Blocco alim. c.c.		3200 A	A	(1)
T _{superf.} VA.CE.01	TC 907	s/w	280 °C	320 °C	A/R	(1)
	“ “	Indicatore Cons.		330 °C	A/R	(1)
Pres. VA.SP.01	Pressostato	Pressostato		23 bar	A/L	(2)
Potenza caldaia	Calcolo s/w	s/w	108 kW	120 kW	A/R	(1)

Note:

(1) Intervento con blocco dell'alimentatore elettrico.

(2) Intervento con blocco dell'alimentatore elettrico e, con ritardo di 10 s, della pompa VA.PV.01

A=automatico; L=locale; R=remotizzato

2.2 Ipotesi di configurazioni dell'impianto CERCO

Considerando i riferimenti del progetto D.4, l'impianto VASIB dovrà essere modificato e implementato per testare, nei limiti delle sue potenzialità, le tecnologie che rientrano nell'obiettivo **a. Studio con verifica sperimentale di componenti e sistemi per mini/micro co/tri-generazione e sistemi ibridi poligenerativi** che saranno definite al termine di tutte le attività previste in questo PAR.

Come contributo a queste scelte e in attesa dei risultati degli altri obiettivi, in questa fase abbiamo individuato, per definire i confini della progettazione di massima dell'impianto, delle tecnologie adatte alla micro-mini co-trigenerazione già disponibili o in avanzata fase di studio. Dalla analisi delle caratteristiche dei loro cicli, valuteremo la fattibilità di test sperimentali sull'impianto VASIB e le integrazioni impiantistiche da apportare per renderle possibili. In particolare considereremo la tecnologie delle pompe ad assorbimento (AHP), già di fatto utilizzata per il solar cooling, la produzione di energia elettrica tramite cicli ORC (Organic Rankine Cycle) e, in generale, la possibilità di prove per i sistemi di accumulo termico (SAT).

La progettazione deriverà da un'ottimizzazione delle diverse esigenze relative alle tecnologie; come primo passo, quindi, nei successivi paragrafi si valuterà l'implementazione delle singola tecnologia nell'impianto CERCO.

2.2.1 Implementazione AHP

Come noto, per produrre la potenza frigorifera la pompa di calore ad assorbimento ha bisogno di una sorgente calda e di un pozzo di calore dove scaricare tutta potenza necessaria per il processo; usualmente a

tale scopo, come per le pompe di calore a compressione, viene utilizzata l'aria esterna. Inoltre, per poter far funzionare il ciclo in maniera continua, nell'impianto CERCO occorrerà dissipare in maniera controllata anche la potenza frigorifera prodotta.

I parametri e variabili che descrivono il processo sono indicati nella tabella 3 seguente; l'acqua è l'unico fluido vettore per i tre circuiti afferenti alla macchina.

Tabella 3 – parametri funzionamento AHP

Grandezza	sigla	unità
T acqua calda ingresso AHP	Ta1	°C
T acqua calda out AHP	Ta2	°C
W alimentazione	Wa	kW
T acqua climatizzazione in	Tc1	°C
T acqua climatizzazione out	Tc2	°C
W climatizzazione	Wc	kW
T raffreddamento AHP in	Tr1	°C
T raffreddamento AHP out	Tr2	°C
W raffreddamento AHP (ceduto all'esterno)	Wr	kW
Rendimento processo	COP/GUE	-
W raffreddamento AHP (ceduto all'esterno)	Wr	kW
W riferimento AHP (freddo fornito per climatizzazione)	WAHPc	kW
W riferimento AHP richiesta	WAHPh	kW

Per valutare le prestazioni delle pompe di calore per produzione di freddo si utilizza il parametro

$$EER (COP) = W_c / W_a \quad \text{Energy Efficiency Ratio}$$

(anche se spesso si continua ad usare il termine COP calcolato con la W_c).

Per le pompe a compressione elettriche W_a corrisponde alla potenza elettrica assorbita W_{el} . Nel caso delle pompe ad assorbimento alimentate a gas, si utilizza il parametro

$$GUE = W_c / W_g \quad \text{Gas Utilization Efficiency}$$

che indica l'efficienza di utilizzo del gas per la produzione di freddo. Se usassimo il gas per produrre elettricità con rendimento η si potrebbe scrivere

$$W_{el} = W_g * \eta$$

e quindi una macchina a compressione elettrica produrrebbe

$$W_c = EER * W_g * \eta$$

Mentre una macchina ad assorbimento

$$W_c = GUE * W_g$$

Se avessero la stessa resa si avrebbe

$$EER = W_c / (W_g * \eta) = GUE / \eta$$

Si comprende come la fonte di produzione del calore per le AHP e dell'elettricità per le HP sia fondamentale per un loro corretto confronto. In questa fase in realtà ci interessa il dimensionamento del circuito di test e quindi non approfondiremo questi aspetti di confronto e utilizzeremo delle semplificazioni per i calcoli necessari ai dimensionamenti dei circuiti dell'impianto.

Per il calcolo della W_r , dalla tabella 3 si può scrivere:

$$W_r = W_c + W_a$$

Nell'impianto CERCO si dovrà:

- Smaltire la W_c , potenza frigorifera prodotta dalla AHP per la climatizzazione, per mantenere le condizioni di funzionamento.
- Rispettare i range di temperature previsti per gli scambi di calore richiesti, (alimentazione, fornitura acqua refrigerata, rimozione calore).

Dato per scontato che la potenza W_a sarà fornita dal circuito VASIB tramite il circuito intermedio, per quanto riguarda la dissipazione della W_r e della W_c si possono considerare teoricamente diverse soluzioni. Come detto, inoltre, la rimozione/scambio del calore sarà condizionata dalla necessità di controllare anche le temperature di scambio previste.

Sono state proposte e valutate diverse ipotesi impiantistiche atte a soddisfare, partendo dall'esistente dove possibile, le condizioni di esercizio suddette.

▪ **Gestione lato *condizionamento* (W_c) e controllo temperature in e out**

Questo aspetto potrebbe essere realizzato con le diverse seguenti modalità:

- Wc rimossa e controllata con la caldaia elettrica VA.CE.01*
Si avrebbe una gestione estremamente complicata e relativamente affidabile per il rispetto e indipendenza dei parametri di input e output. Inoltre si limiterebbe la potenza disponibile per $W_a = W_{CE} - W_c$, riducendo il range delle possibili AHP da poter testare.
- Introduzione di una nuova caldaia elettrica e relativo circuito*
La gestione avverrebbe regolando la portata evolvente e la potenza fornita dalla nuova caldaia elettrica. Il sistema sarebbe semplice ma comporterebbe spese onerose in particolare per l'alimentatore elettrico della caldaia.
- Smaltimento verso l'esterno*
 - Con la torre evaporativa esistente.
Dal punto di vista della potenza disponibile "aiuterebbe" la torre, dato che asporta già del calore a T superiore dallo scambiatore VA.SC.01. Di contro si avrebbe un controllo limitato sulla $Tr1$, dipendente dalle condizioni esterne, e una regolazione molto complessa, legata anche al funzionamento dello scambiatore suddetto.
 - Smaltimento con un nuovo circuito con air cooler.
Soluzione più interessante, si avrebbe una regolazione più semplice con il limite sulla $Tr1$ ottenibile legati al pozzo freddo (ambiente esterno).

▪ **Gestione lato *rimozione calore AHP* (W_r) e controllo temperature in e out**

Anche in questo caso si potrebbero proporre diverse soluzioni:

- Con la torre evaporativa esistente*
Viste le potenze in gioco, usualmente più del doppio delle W_c , questa soluzione limiterebbe notevolmente il range di AHP da poter testare, ma avrebbe il pregio di ottenere, a parità di condizioni dell'aria esterna, delle T minime minori.
- Smaltimento con un nuovo circuito con air cooler.*
Si avrebbe una regolazione più semplice ma sempre con limiti sulla $Tr1$ legati alla temperatura dell'aria esterna

▪ **Gestione W_r e W_c con scambio termico tra il fluido di condizionamento e di refrigerazione.**

Date le basse temperature legate alla potenza W_c , è possibile pensare di utilizzarla per ridurre la potenza W_r da asportare. Ottimizzando le regolazioni si potrebbero inoltre controllare anche le temperature di

ritorno e, in particolare, la Trin sarebbe meno dipendente dalle temperature dell'aria esterna. Infine, si ridurrebbe la W_r da smaltire.

Questa soluzione, integrata dalla rimozione finale della W_r residua tramite dry-cooler, è stata ritenuta la più interessante, fermo restando valutarne le ricadute e la sua convenienza anche per configurazioni dell'impianto per la prova di altri componenti e sistemi.

Nella figura 9 è riportato uno schema semplificato di una possibile configurazione con la relativa strumentazione da inserire.

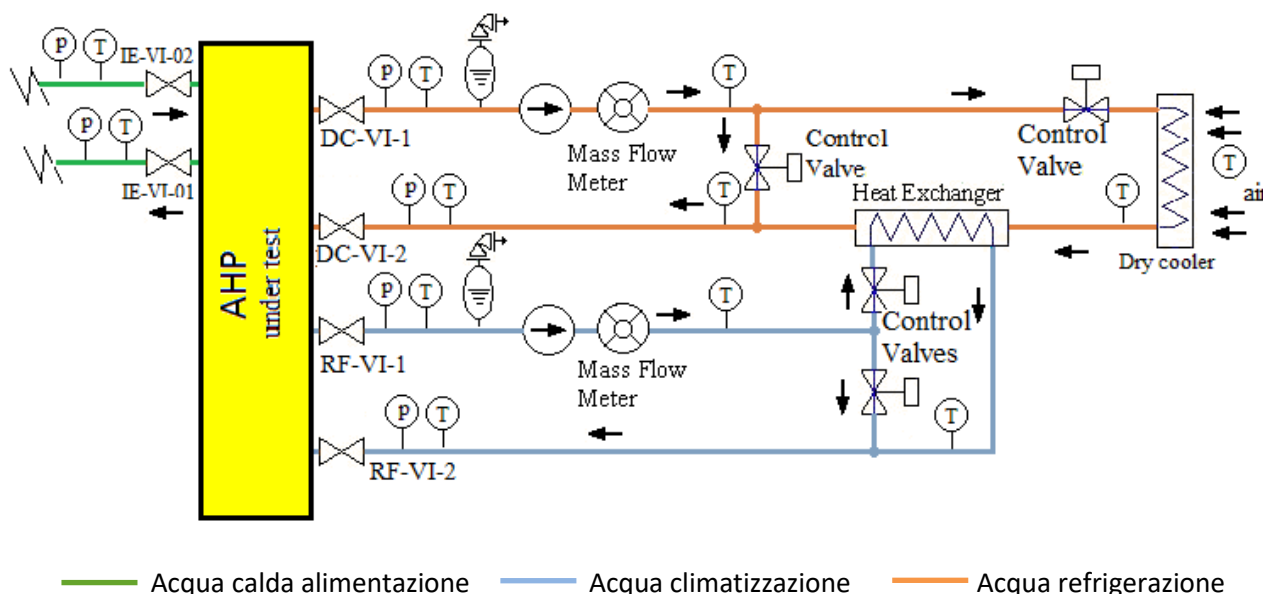


Figura 9 – Schema semplificato implementazione AHP

2.2.2 Valutazioni sulla rimozione W_c e W_r

Partendo da informazioni disponibili su AHP a bromuro di litio in commercio [7] macchine già utilizzate per i precedenti impianti solar cooling realizzati in ambito AdP [8,9],), mantenendo tutti i loro dati fondamentali di esercizio e prestazioni, e fissate delle potenze di raffreddamento, si sono preliminarmente calcolate, in maniera semplificata, le condizioni di esercizio richieste dalle corrispondenti AHP e quindi da fornire con l'impianto CERCO per effettuare i relativi test.

Nella tabella 4 sono riportati i dati così ottenuti, ipotizzando W_c da 20 a 90 kW; in verde sono evidenziati i parametri fondamentali di riferimento, in sostanza tutte le temperature. Le altre potenze sono state calcolate considerando un $GUE = 0.7$, come indicato dai costruttori per queste condizioni di riferimento. In realtà, nel funzionamento reale, sono ammessi range più ampi delle temperature che comportano delle variazioni nelle prestazioni delle macchine e quindi del GUE . Questi aspetti però non sono essenziali in questa prima fase di dimensionamento poiché le fluttuazioni possibili entreranno nei limiti di flessibilità dell'impianto CERCO e saranno considerati nel dimensionamento finale.

Nella tabella sono evidenziate le prestazioni ottenibili considerando la configurazione proposta in figura 9 e, per confronto, a prescindere dalla semplicità e fattibilità delle soluzioni impiantistiche conseguenti, anche quelle ottenibili con altre due possibili soluzioni sulle modalità di rimozione delle W_c e W_r .

Tabella 4 – prestazioni impianto CERCO per due ipotesi di gestione Wc e Wr

TAGLIA (Wc)		20.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0
GUE	-	-	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Wa	kW	28.6	42.9	57.1	71.4	85.7	100.0	114.3	128.6	128.6
Ta1	°C	88.0	88.0	88.0	88.0	88.0	88.0	88.0	88.0	88.0
Ta2	°C	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0
Tr1	°C	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0
Tr2	°C	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
Tc1	°C	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Tc2	°C	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Wa	kW	28.6	42.9	57.1	71.4	85.7	100.0	114.3	128.6	128.6
Wc	kW	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	90.0
Wr	kW	48.6	72.9	97.1	121.4	145.7	170.0	194.3	218.6	218.6
WCE	kW	48.6	72.9	97.1	121.4	145.7	170.0	194.3	218.6	218.6
Wr	kW	28.6	42.9	57.1	71.4	85.7	100.0	114.3	128.6	128.6
WCE (=Wa)	kW	28.6	42.9	57.1	71.4	85.7	100.0	114.3	128.6	128.6
Gc	Kg/s	1.0	1.4	1.9	2.4	2.9	3.3	3.8	4.3	4.3
Ga	Kg/s	1.4	2.0	2.7	3.4	4.1	4.8	5.4	6.1	6.1
Gr	Kg/s	1.7	2.6	3.4	4.3	5.1	6.0	6.8	7.7	7.7

In giallo sono evidenziati i limiti di esercizio con la soluzione di rimozione della Wc con la stessa caldaia elettrica attuale, la più limitante dal punto di vista del range di prova effettuabili. Come si vede, si potrebbero provare macchine fino a Wc di 50 kW, con un Wr di 121 kW e fornendo 121 kW in caldaia.

In campo azzurro sono invece riportati i dati corrispondenti alla soluzione riportata nello schema di fig. 9: la Wc max testabile è 80 kW se ci fermiamo a una potenza di 114 kW forniti dalla caldaia elettrica e installiamo un dry-cooler della stessa potenza.

Se volessimo infine ottenere le stesse prestazioni introducendo una nuovo circuito con una altra caldaia per rimuovere la Wc, la nuova caldaia dovrebbe avere una potenza di 80 kW, fermo restando le potenze richieste alla caldaia esistente e al dry-cooler.

Nelle valutazioni si è preferito cautelativamente non considerare taglie dell'AHP che comportino valori prossimi ai 150 kW di progetto erogabili dalla CE; questa opzione sarà riconsiderata nel caso possa servire a un progetto ottimale dell'intero impianto.

2.2.3 Implementazione ORC

Un ciclo ORC produce energia elettrica partendo da una adeguata fonte di calore; la potenza termica non trasformata in elettricità si ritrova, tranne la frazione eventualmente recuperata, come calore a più bassa temperatura che deve essere rimosso per completare il ciclo.

Nella seguente tabella 5 è riportata la nomenclatura di alcune grandezze utili per un prima valutazione dell'inserimento di un ORC nell'impianto.

Come riportato in [7], il rendimento del ciclo è legato alle pressioni di esercizio, alle temperature Ta1 e Tr1, oltre che alle caratteristiche del fluido evolvente e alle prestazioni dei componenti.

In sostanza per effettuare dei test su un ciclo ORC, l'impianto CERCO dovrà essere in grado di:

- fornire il calore di alimentazione all'evaporatore del ciclo, alla Ta1 necessaria per far evaporare il fluido e portarlo alla Te2 richiesta;
- rimuovere il calore di condensazione del ciclo per riportare la Tc1 al valore Tc2 tramite l'acqua a Tr1 del circuito di raffreddamento, fornita;
- smaltire la potenza elettrica prodotta.

Tabella 5 – parametri di funzionamento ORC

Grandezza	sigla	unità
T acqua calda in evaporatore	Ta1	°C
T acqua calda out evaporatore	Ta2	°C
T raffreddamento in condensatore	Tr1	°C
T raffreddamento out condensatore	Tr2	°C
T fluido evolvente in evaporatore	Te1	°C
T fluido evolvente out evaporatore	Te2	°C
T fluido evolvente in condensatore	Tc1	°C
T fluido evolvente out condensatore	Tc2	°C
W alimentazione	Wa	kW
Rendimento ciclo	η	-
W raffreddamento	Wr	kW
W elettrica prodotta	Wel	kW
portata H2O evaporatore	Ga	Kg/s
portata H2O condensatore	Gr	Kg/s

La Ta1 dipende dalla fonte di calore disponibile, mentre per la temperatura di rimozione del calore Tr1 si fa riferimento alla temperatura dell'aria esterna, usualmente utilizzata come pozzo termico.

La Wr di raffreddamento da smaltire dipenderà dalla taglia e dall'efficienza dell'ORC da testare, essendo in prima approssimazione:

$$Wr = Wa - We = Wa - \eta Wa$$

Date le basse efficienze attese (indicativamente intorno al 10%), per semplicità supponiamo di dover smaltire **tutta la Wa fornita**.

Nel caso degli ORC di piccola potenza è difficile al momento individuare dei prodotti commerciali che possano essere utilizzati come riferimento per il dimensionamento dei circuiti ausiliari; per tale motivo utilizzeremo come input dei valori indicativi rintracciati in letteratura per impianti sperimentali. In particolare, essendo i valori del fluido evolvente legati alla scelta del fluido stesso e quindi al momento non effettuabile, le ipotesi assunte permetteranno una valutazione cautelativa dell'esigenze di prova degli ORC in modo da poter far fronte, con una adeguata flessibilità, a situazioni al momento non esattamente prevedibili.

Nella tabella 6 sono riportati i range di valori di riferimento assunti per il dimensionamento dei circuiti necessari per le prove con gli ORC. Come detto, i valori del fluido evolvente non sono indicati poiché legati alla scelta del fluido stesso. Per il calcolo della portata di acqua all'evaporatore si ipotizza un DT di 10 °K e al condensatore di 5 °K.

Nell'impianto CERCO, la Wa sarà fornita dal circuito VASIB tramite il circuito intermedio, alle condizioni di temperatura e potenza (portata) richieste. Partendo dalle considerazioni già esposte per le prove con la AHP, lo smaltimento del calore al condensatore (W raffreddamento) potrà avvenire tramite un dry-cooler; la regolazione delle temperature di ingresso al condensatore saranno effettuabili nel rispetto del limite inferiore legato alla temperatura dell'aria esterna.

discontinue risultando, perciò, di fondamentale importanza per possibili architetture di sistemi di mini/micro co/trigenerazione.

L'accumulo è quindi visto, piuttosto che come un componente a se stante, come parte di un sistema complesso; la sua scelta, dimensionamento e impiego sarà in funzione della ottimizzazione tra le richieste dell'utilizzatore, delle disponibilità delle sorgenti rinnovabili e delle condizioni esterne a cui è legato. Questa concezione conduce a un approccio del problema molto articolato ma più funzionale, diventando di fatto la ricerca di un'ottimizzazione tra diverse variabili non sempre convergenti.

L'impianto CERCO dovrà perciò essere in grado di simulare il comportamento delle soluzioni proposte per l'accumulo nelle condizioni di esercizio effettivo. In sostanza si dovrà realizzare, in condizioni controllate di temperature e potenze, sia separatamente che contemporaneamente, situazioni di carico e scarico dell'energia accumulata.

In questa fase iniziale della progettazione, si punta a disporre di un impianto che copra il maggior campo di situazioni di prova possibili, coerenti con le ipotesi di riferimento del progetto D.4. Si prevedrà quindi di poter "caricare" il serbatoio in condizioni controllate, ossia partendo da una temperatura di bulk e arrivando a una temperatura finale utilizzando acqua calda di cui sarà possibile controllare uno o due parametri tra temperature di ingresso, portata e potenza. Un discorso analogo dovrà essere possibile per lo "scarico" del serbatoio. Inoltre dovrà anche essere fattibile lo carico/scarico contemporaneo in condizioni controllate.

Gli scambiatori necessari per il trasferimento delle potenze si considerano facenti parte del Serbatoio di Accumulo, almeno in questa fase iniziale. Queste richieste possono essere soddisfatte con la solita e semplice configurazione di impianto riportata in figura 11 dove:

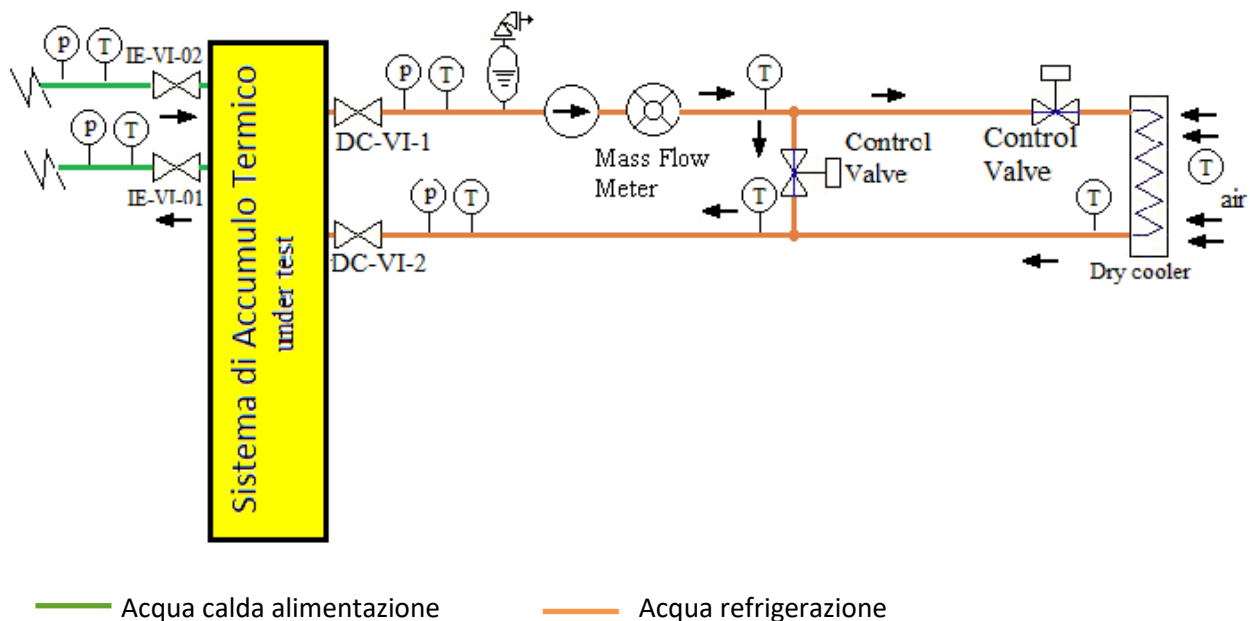


Figura 11 – Schema semplificato implementazione SAT

- Il circuito VASIB fornirà tramite il circuito intermedio, nei limiti delle capacità dei suoi componenti e dopo un transitorio di assestamento, la potenza di riscaldamento alle condizioni richieste;
- Il circuito Dry-cooler, grazie alle regolazioni sulle valvole di by-pass e portata al dry-cooler, tenendo sempre presente i limiti legati alla temperatura dell'aria esterna, provvederà allo smaltimento del calore.

Allo stato attuale non è ancora possibile fissare con precisione i valori di prova richiesti; per questo motivo si è pensato di utilizzare le scelte già emerse dalle valutazioni svolte per la AHP e l'ORC.

Per il serbatoio, si prevede di partire con una temperatura minima di 20 °C e di raggiungere, grazie alla potenza fornita dal circuito VA, una temperatura di 120°C. Per soddisfare la condizione di carico/scarico in contemporanea, basterà che i circuiti di riscaldamento e raffreddamento possano agire in maniera indipendente.

Tutto il range di condizioni intermedie potranno essere raggiunte variando le temperature e le portate dei circuiti coinvolti come riportato nella tabella 7; non sono indicate le portate che dovranno essere stabilite sulla base di parametri (p.e. tempi di carico/scarico) al momento non conosciuti. Alla riga “scarico max” si indicano delle condizioni limite possibili di funzionamento; questo aspetto sarà successivamente approfondito sulla base delle indicazioni del Report inerente il sistema di accumulo.

Tabella 7 – prestazioni impianto CERCO per test su SAT

	Serbatoio, T bulk		H ₂ O riscald. (VA)		H ₂ O raffredd. (DC)		potenza kW
	T iniz °C	T fine °C	T iniz °C	T fine °C	T iniz °C	T fine °C	
Carico	20	120	50	130			5-120
Scarico	120	20			20	100	5-120
Scarico max	190	20	50	200	20	180	5-120

Se necessario infatti potremo raggiungere temperature maggiori fino alla massima di 200 °C fornibile dalla caldaia elettrica del circuito VA; al momento terremo conto di questa ipotesi per il dimensionamento del circuito DC.

I valori indicati nella tabella 7 si utilizzeranno per il dimensionamento dei circuiti ausiliari.

2.3 Definizione configurazione impianto

2.3.1 Valutazione esigenze

La valutazione delle tecnologie di interesse ha evidenziato che, per la loro caratterizzazione in condizioni di prova controllate, l'impianto CERCO debba disporre, oltre ai circuiti ausiliari già presenti, di:

1. Un circuito atto a fornire la potenza necessaria allo svolgersi del processo, sotto forma di acqua ad adeguata temperatura e portata
2. Un circuito per la rimozione del calore di processo del componente testato
3. Un circuito per la rimozione di una potenza frigorifera, (Tmin di circa 5°C) prodotta da particolari tecnologie, p.e. pompe di calore ad assorbimento
4. Un sistema per lo smaltimento di una potenza elettrica, prodotta da tecnologie come ORC.

Per quanto riguarda il punto 1, si è visto come tale esigenza possa essere soddisfatta dal preesistente impianto VASIB, previa integrazione con un circuito intermedio di cui diremo nel seguito.

La configurazione prevista per la prova della AHP sembra rispondere alle esigenze emerse dall'analisi dei test sugli ORC e sui SAT, prevedendo un circuito per la rimozione del calore di processo (punto 2) oltre al circuito per la rimozione del freddo (punto 3), come esposto nel § 2.2.2. E' già stato visto come le configurazioni richieste per le prove sugli ORC e sul SAT possano essere ottenute bypassando il circuito di rimozione del freddo prodotto dalla AHP.

Il punto 4, necessario nel caso di prove su ORC già configurati per la produzione di energia elettrica, non presenta la necessità di scelte condizionanti per il resto dell'impianto; come prima soluzione di riferimento, già adottata in situazioni sperimentali, si potrebbe considerare lo smaltimento dell'energia elettrica prodotta per mezzo di un carico elettrico modulabile, p.e. una batteria di lampadine.

Nella figura 12 è riportato lo schema semplificato della configurazione che sarà presa come riferimento; nel prosieguo si adotteranno le seguenti sigle per individuare i diversi circuiti e i relativi componenti e strumentazione:

- **VA** => circuito VASIB

- **IE** => circuito intermedio
- **DC** => circuito rimozione calore
- **RF** => circuito rimozione freddo
- **RPE** => rimozione potenza elettrica

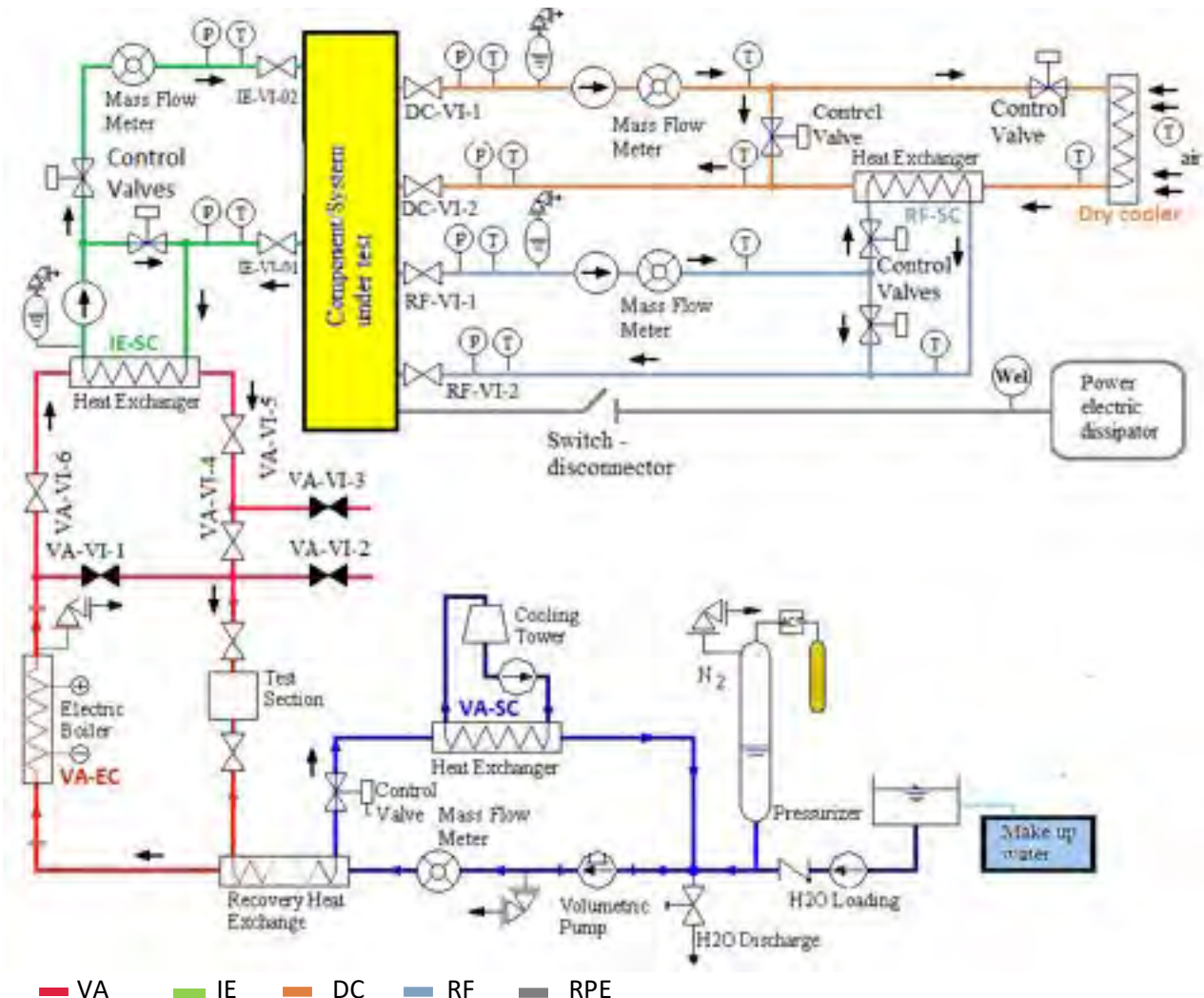


Figura 12 – Schema semplificato impianto CERCO

Aspetto fondamentale per garantire le condizioni di prova desiderate è che tutti questi circuiti di fornitura/rimozione del calore permettano il controllo della portata e della temperatura di ingresso al componente da testare; a tale scopo nei circuiti sono previsti rami di by-pass e valvole di regolazione. Un dimensionamento effettivo di tali sistemi comporta approfondimenti e scelte impiantistiche su tutti i componenti del circuito che potranno essere eseguite solo dopo aver stabilito gli input effettivi di dimensionamento. Dato l'ampio range di condizioni di prova ipotizzato, indicativamente non si esclude di dovere prevedere, se necessario, soluzioni più complesse per la regolazione.

Nei successivi paragrafi si esamineranno, rispetto alle ipotesi espresse in questa fase, i diversi circuiti per definire le caratteristiche e prestazioni di massima necessarie per il loro dimensionamento per quanto riguarda le temperature e le potenze; per le pressioni si lavorerà nelle condizioni indicate dal fornitore/realizzatore del componente in prova e comunque non si prevedono condizioni particolarmente gravose, salvo situazioni eccezionali. Non sempre saranno indicate le portate, data l'estrema variabilità delle stesse a seconda del componente/tecnologia da testare. Questo aspetto, come tutta la parte

collegata alle regolazioni, potrà essere approfondita solo a fronte delle scelte definitive previste nella fase successiva.

2.3.2 Circuito VA

Il circuito VASIB è sostanzialmente già disponibile per fornire la potenza termica necessaria per le prove, nei limiti di esercizio riportati nella tabella 8. La temperatura e la pressione massima di esercizio massima sono state scelte ($T_{sat}=212.38\text{ °C}$ a 20 bar) per evitare accidentale produzione di vapore in caldaia.

Tabella 8 – Range di funzionamento impianto VA

		Minima	massima
Portata	kg/h	150	1500
	kg/s	0.0417	0.417
Temperatura	°C	30	200
Pressione	bar	2	20
Potenza	kW	5	120

Anche il valore di potenza massima indicata è cautelativamente al di sotto del massimo disponibile (alimentatore elettrico da 150 kW max , 50V e 300 A in cc, caldaia ad effetto Joule dimensionata per oltre 140 kW).

Il fluido di processo è acqua demineralizzata.

Dal punto di vista meccanico si dovranno realizzare i tratti di collegamento con il circuito intermedio IE, come mostrato in maniera schematica nella fig. 12. Le valvole di intercettazione VA-VI-1,2,3,4,5 permetteranno di ottenere il percorso del flusso desiderato, escludendo la parte del circuito VA non di interesse.

La strumentazione esistente appare adeguata alla gestione della nuova configurazione; una valutazione definitiva sarà eseguita durante la progettazione finale.

La portata è facilmente e direttamente regolabile agendo sulla pompa a pistoncini a corsa variabile (§ 2.1.2) ed è misurata tramite l'esistente misuratore ad effetto Coriolis. Il valore minimo della temperatura ingresso allo scambiatore in comune con il circuito IE è dipendente dal circuito collegato alla torre evaporativa che controlla la temperatura di ingresso alla pompa; il valore di 30 °C indicato in tabella 8 è sicuramente ottenibile per temperature dell'aria inferiore ai 15°C.

Le portate saranno funzione delle potenze richieste per la prova e delle prestazioni del componente testato (temperatura di ritorno), come si vedrà in maniera più approfondita nel paragrafo seguente.

2.3.3 Circuito Intermedio IE

Questo circuito ha il compito di trasferire la potenza termica prodotta dal circuito VA al componente in prova alle desiderate condizioni di portata e temperatura.

Il circuito VA infatti ha una portata limitata a 1500 kg/h, insufficiente per provare direttamente molte taglie di potenza della tecnologia da studiare.

Il circuito IE, come mostrato nella figura 12, consentirà di impostare la portata di prova richiesta tramite la pompa e il sistema di regolazione di portata, realizzato tramite una linea di by-pass e due valvole di regolazione, e riceverà la potenza termica necessaria grazie allo scambiatore di calore IE-SC in comune con il circuito VA. Il limite sulla portata e sulla temperatura di 200 °C massima di ingresso allo scambiatore lato VA, comporta una verifica sulle "taglie" testabili per le tecnologie AHP, ORC e SAT.

Nella tabella 9 sono presentate le condizioni di prova previste per le AHP; i calcoli sono eseguiti in maniera semplificata ma, in questa fase preliminare, consentono una valutazione di massima delle potenze di prova raggiungibili. Si è analizzata la situazione peggiore, ossia con le temperature maggiori [7] richieste dalla macchina, $T_{in}=95\text{ °C}$, $T_{out}=90\text{ °C}$. Questi valori sono stati considerati come ingresso ed uscita dello scambiatore lato circuito IE. Lato VA, si è imposta la portata massima di 0.417 kg/s (1500 kg/h), la pressione

di 20 bar e una Tout scambiatore di 5 °K superiore alla Tin lato IE. Su queste ipotesi sono state calcolati i DT e quindi le temperature di ingresso necessarie lato VA (Tin) per fornire le potenze richieste.

Nel circuito reale questa situazione corrisponderebbe al by-pass circuito IE chiuso; al momento consideriamo trascurabile l'effetto di questa semplificazione. Le portate lato IE così calcolate sono anch'esse indicate in tabella.

Tabella 9 – Condizioni di prova previste per le prove con AHP

	Scambiatore IE-SC								
AHP	lato VA					Lato IE			
Wa	p	G	Tout	DT	Tin	p	G	Tin	Tout
kW	bar	kg/s	°C	°K	°C	bar	kg/s	°C	°C
	20	0.417	95			5		90	95
10				5.69	100.69		0.48		
20				11.36	106.36		0.96		
30				17.02	112.02		1.44		
40				22.65	117.65		1.91		
50				28.25	123.25		2.39		
60				33.83	128.83		2.87		
70				39.37	134.37		3.35		
80				44.88	139.88		3.83		
90				50.21	145.21		4.31		
100				55.61	150.61		4.78		
110				60.96	155.96		5.26		
120				66.27	161.27		5.74		

Come si può osservare, tutto il range di prove previsto nel § 2.2.2 può essere raggiunto con Tin lato VA decisamente inferiori ai 200°C di riferimento per la caldaia.

Lo stesso tipo di analisi è stata eseguita per gli ORC. Come detto nel § 2.2.3. non abbiamo riferimenti consolidati per i campi di esercizio di queste macchine; per la verifica abbiamo quindi assunto delle ipotesi, in particolare un DT dell'acqua di alimento all'evaporatore di 20°K, mediando su dati sperimentali al momento disponibili in letteratura.

Una prima considerazione riguarda la T max fornibile che ovviamente sarà inferiore a 200 °C. Nella tabella 10, come prima ipotesi, abbiamo un valore di 180 °C, supposto, per semplicità di calcolo, corrispondente alla Tout scambiatore lato IE. Il rientro allo scambiatore dall'ORC è ipotizzato a 160 °C (DT nell'evaporatore dell'ORC di 20°K); la pressione del circuito sarà di 20 bar per evitare formazione di vapore. Lato VA, la portata massima è di 0.147 kg/s e la Tout scambiatore è fissa a 165 °C, superiore di 5 K alla Tin lato IE. Da queste ipotesi si possono calcolare le portate e la Tin necessaria ($\approx$ Tout CE).

La tabella mostra come la Tin massima fornibile lato VA limita le potenze degli ORC teoricamente testabili a 60 kW; in queste condizioni infatti la Tout CE sfiora i 200 °C posti come limite. Da notare che per Wa fino a 40 kW occorre lavorare a portate minori alla massima possibile lato VA per ottenere Tin significativamente superiori ai 180°C attesi lato IE.

Tabella 10 – Condizioni di prova possibili con ORC per T acqua di alimento = 180 °C

Scambiatore IE-SC									
	lato VA					Lato IE			
Wa	p	G	To	DT	Ti	p	G	Ti	To
ORC	bar	kg/s	°C	°K	°C	bar	kg/s	°C	°C
kW	20	0.417	165			20		160	180
10		0.114		20.11	185.11		0.11		
20		0.230		19.93	184.93		0.23		
30		0.340		20.22	185.22		0.34		
40		0.417		22.00	187.00		0.46		
50		"		27.50	192.50		0.57		
60		"		33.00	198.00		0.69		
70				38.51	203.51		0.80		
80				44.01	209.01		0.92		
90				49.51	214.51		1.03		
100				55.01	220.01		1.15		
110				60.51	225.51		1.26		
120				66.01	231.01		1.38		

Nella tabella 11 seguente sono indicate le condizioni limite, temperature lato IE di 150 e 130 °C, che consentono di eseguire le prove fino a potenze di alimentazione degli ORC di 120 kW, C, il massimo di potenza previsto per il circuito VA.

Tabella 11 – Condizioni di prova possibili con ORC per T acqua di alimento = 150 °C

	lato VA					Lato IE			
Wa	p	G	To	DT	Ti	p	G	Ti	To
kW	bar	kg/s	°C	°K	°C	bar	kg/s	°C	°C
	20	0.417	135			20		130	150
10		0.114		20.11	155.11		0.12		
20		0.230		19.93	154.93		0.23		
30		0.340		20.22	155.22		0.35		
40		0.417		22.00	157.00		0.47		
50		"		27.50	162.50		0.58		
60		"		33.00	168.00		0.70		
70		"		38.51	173.51		0.82		
80		"		44.01	179.01		0.94		
90		"		49.51	184.51		1.05		
100		"		55.01	190.01		1.17		
110		"		60.51	195.51		1.29		
120		"		66.01	201.01		1.40		

Fra queste due condizioni limite sono possibili situazioni intermedie, p.e. la potenza di 100 kW è testabile con temperature di 140 e 160 °C.

Per quanto riguarda la gestione delle prove per il SAT, essendo la T_{max} al momento prevista per l'accumulo di 130°C , decisamente lontana dai 200°C fornibili dal circuito VA, non si evidenziano limiti nell'erogazione di tutta la potenza della caldaia elettrica per la fase di riscaldamento del sistema di accumulo termico.

Nella tabella 12 sono riportate le condizioni di scambio in condizioni limite con T accumulo 130°C dove si osserva come la caldaia possa ancora fornire praticamente la potenza massima possibile, a portata massima del circuito VA. In sostanza l'impianto è in grado di "caricare" alla potenza massima anche in questa situazione limite e, di conseguenza, sicuramente copre tutte le condizioni possibili di esercizio meno impegnative come temperature e potenze.

Tabella 12 – Condizioni di prova limite previste per le prove con SAT: T_{max} accumulo 130°C

	lato VA					Lato IE			
W_a	p	G	T_i	DT	T_o	p	G	T_i	T_o
kW	bar	kg/s	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{K}$	$^{\circ}\text{C}$	bar	kg/s	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
117.3	20	0.417	200	65	135	20	5.51	130	135

Dal punto di vista impiantistico, in questa fase preliminare, si prevedono solo i componenti principali indicati nello schema di figura 12, rimandando alla progettazione definitiva per gli altri (vasi di espansione/pressurizzatori, filtri, valvole, sfiati, carico/scarico, valvole sicurezza, pressostati, ecc.). Per quanto riguarda la strumentazione, si installeranno due coppie di misure di pressione e temperatura all'ingresso ed uscita del componente in prova per valutarne le prestazioni e per la regolazione/controllo del processo, e un misuratore di portata sul ramo di interesse. L'inserimento di altra strumentazione sarà valutata in fase di progettazione finale.

Per concludere, il dimensionamento reale di questo circuito dovrà essere affinato con delle scelte sulle taglie e tecnologie da provare, al momento non considerate in questa prima fase. L'individuazione di taglie di riferimento per ogni tecnologia dovrà portare ad effettuare prove significative per il loro studio, avendo cura di evitare eccessivi sovradimensionamenti di circuiti o componenti limitando i costi e semplificando la gestione delle prove.

2.3.4 Circuito Rimozione Calore (DC)

Nell'ipotesi allo studio il circuito DC, asservito alla rimozione del calore dei componenti in prova, prevede due configurazioni a seconda che lo scambiatore in comune con il circuito RF, nel seguito RF-SC, sia utilizzato o no.

Nel caso di prove con AHP, dovendo asportare la potenza per la climatizzazione W_c per mantenere le temperature di esercizio ai valori desiderati (p.e. riferimento $7\text{-}12^{\circ}\text{C}$), si dovrà intervenire sia sulla regolazione del dry cooler che su quella dello scambiatore RF-SC, agendo sulle portate di by-pass e di attraversamento degli scambiatori tramite le valvole di regolazione (figura 12). In sostanza, il lato RF "comanderà" la regolazione dovendo garantire la potenza fredda da smaltire e le temperature di ingresso all'AHP; il circuito DC "seguirà" regolando le portate da inviare al dry-cooler e di by pass. La regolazione sarà ovviamente condizionata dalle temperature ottenibili al dry-cooler. Volendo regolare anche le temperature Tr_1 e Tr_2 (§ 2.2.2) il raggiungimento delle condizioni di prova avverrà per gradi. In questa fase di progettazione, possiamo cautelativamente considerare che la temperatura minima all'ingresso dello scambiatore RF-SC, sia la minima ipotizzata in uscita del dry-cooler, supponiamo 15°C , mentre la massima corrisponda alla massima che possiamo ottenere regolando sulle portate di by-pass e sul dry cooler, in questa fase supponiamo di 45°C . Nel paragrafo seguente si considererà l'altro lato dello RF-SC.

Per le prove sugli altre tecnologie (ORC, SA,) il collegamento con il circuito RF non sarà attivo e supponiamo un salto minimo di 5°K nel dry-cooler

Nella tabella 13 sono riportati i range di funzionamento attesi per le prove sui vari componenti, sigla comune CT; nell'ultima colonna il range di dimensionamento complessivo del circuito.

Tabella 13 – Condizioni di prova previste per circuito DC

		AHP		ORC		SA		Circuito DC	
		min	max	min	max	min	max	min	max
Tout CT-Tin Dr.Co	°C	20	45	20	40	20	130	20	130
Tout Dr.Co.	°C	15	45	15	35	15	125	15	125
Tin RF-SC	°C	15	45	-	-	-	-	-	-
Tin CT ¹	°C	15	40	15	35	15	125	15	125
G	Kg/s	1.7	7.7	2.4	5.7	-	-	1.7	7.7
W DC ²	kW	28	120	5	120	0	120	0	120

¹ Le temperature sono le stesse di uscita dal Dry-Cooler, ma potrebbero essere raggiunte grazie alla miscelazione della portata inviata direttamente al drycooler e quella di by-pass (p.e. Tin CT > Tout Drycooler)

² Nel caso dell'ORC, si considera per semplicità di smaltire tutta la Wa fornita dalla caldaia

Le portate indicate si riferiscono all'ipotesi di by-pass chiuso. Durante il dimensionamento finale, sulla base delle scelte eseguite anche per le prove sul SAT, si determineranno le condizioni di esercizio da realizzare.

Il circuito non prevede particolari aspetti impiantistici; nello schema unifilare della figura sono indicate per semplicità solo le valvole di isolamento dal componente in prova necessarie per la sua sostituzione. Altre valvole e componenti di linea, oltre alle sicurezze, saranno installate ove ritenuto necessario per l'esercizio, (in particolare il ramo di by-pass dello scambiatore RF-SC) e manutenzione dei componenti. L'installazione del dry-cooler è ipotizzata sul tetto di un edificio di servizio confinante alla Hall dove è già presente la torre evaporativa del circuito VA; in alternativa (la Hall dovrà esser condivisa con altri impianti in fase di realizzazione) si valuterà la sua installazione, livello suolo, all'esterno dell'edificio.

Si prevede di installare la strumentazione indicata nello schema unifilare per acquisire tutte le informazioni necessarie a valutare le prestazioni dei componenti in prova e per la regolazione/controllo del processo. L'inserimento di altra strumentazione sarà valutata in fase di progettazione finale.

2.3.5 Circuito Rimozione Freddo (RF)

Questo circuito, schematizzato in figura 12, è previsto attualmente per i soli test con AHP per i quali è necessario rimuovere la potenza a bassa temperatura (p.e. 7°C) prodotta dal componente per riportare il fluido evolvente alle condizioni d'ingresso richieste (p.e. 12°C). Lo scambiatore RF-SC è il componente ove avviene lo scambio termico suddetto con il circuito RC; il sistema di regolazione con by-pass e valvole di regolazione consentirà di ottenere le condizioni richieste, come già detto nel § precedente.

Nella tabella 14 sono riportati i range di esercizio attesi sullo scambiatore RF-SC lato freddo, con le solite semplificazioni di considerare il by pass chiuso e di indicare le temperature di uscita dalla macchina come ingresso scambiatore e viceversa.

Tabella 14 – Condizioni di prova previste per circuito RF

RF-SC		min	max
T in	°C	5	10
T out	°C	10	15
W	kW	0	90
G	kg/s	1	4

La potenza scambiata massima è prevista considerando un margine del 10% circa rispetto alla massima potenza indicata nel § 2.2.1 sulle AHP.

Anche per questo circuito vale quanto detto per il circuito DC per quanto riguarda gli aspetti impiantistici generali e la strumentazione.

2.3.6 Rimozione Potenza Elettrica (RPE)

Questo servizio, necessario per il mantenimento delle condizioni di prova dei componenti che producono energia elettrica, sarà soddisfatto da un circuito elettrico, schematicamente indicato in figura 12, che provvederà a gestire e smaltire la potenza elettrica tramite, p.e., una batteria di lampade di adeguate caratteristiche. La linea, oltre alle protezioni e sezionatore, sarà strumentata per l'acquisizione dei dati di interesse.

2.4 Altre valutazioni preliminari

In questa fase di dimensionamento di massima è stato già possibile effettuare una prima stima riguardo alla strumentazione e al sistema di acquisizione dati e gestione impianto, al posizionamento del nuovo circuito e ad alcune verifiche e valutazioni di massima su interventi di manutenzione e disponibilità di servizi accessori.

2.4.1 Definizione degli spazi di ampliamento e ipotesi lay-out

L'impianto VASIB è ubicato nella Hall tecnologica dell'edificio T-21 del Centro Ricerche ENEA Casaccia.

Esso occupa una parte della Hall, figura 13a, ed è attualmente confinato con una struttura di pannelli, delineati in rosso nella figura, comprensiva della sala controllo, con un ingombro in pianta di 11x7 m.

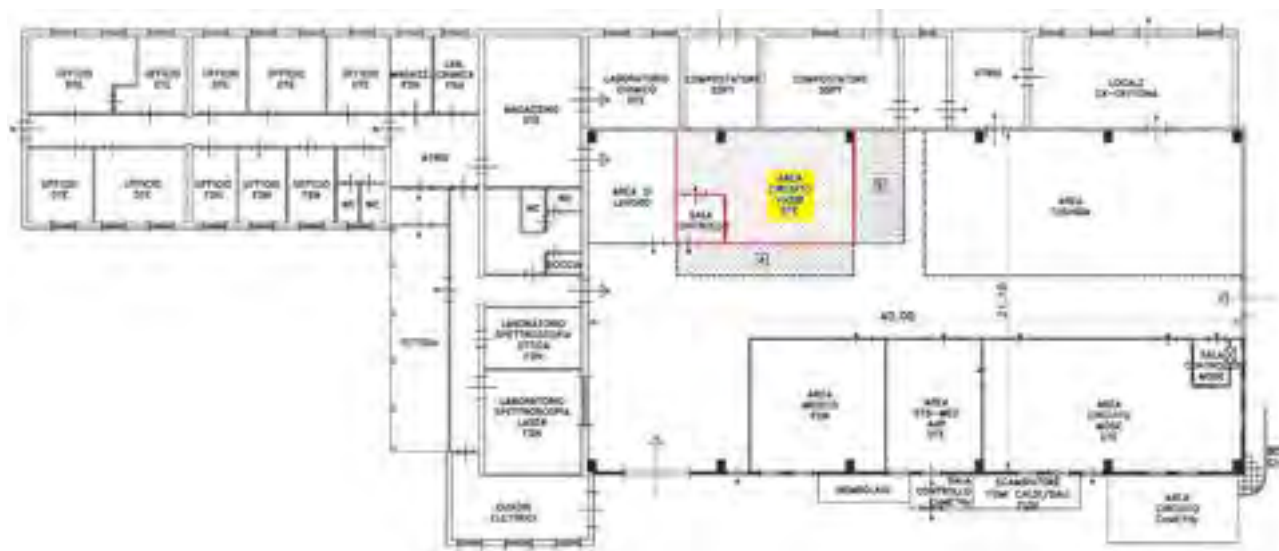


Figura 13a – Impianto VASIB attuale e aree occupate nella Hall ed. T-21

Per il suo ampliamento sono disponibili, viste le esigenze sia di un nuovo impianto in fase di realizzazione sia del rispetto delle necessità di movimentazione interna, le due aree rettangolari delineate in verde nella figura 13b; l'area A ha dimensioni di circa 2x11 m mentre la B di circa 3x7 m.

La zona dove si effettuerà il collegamento tra impianto VASIB con il circuito IE e da questo ai componenti in prova, è prossima ad entrambe le aree. Nell'ipotesi di massima del lay-out, si riserverà una zona nelle vicinanze degli attacchi al circuito IE, baricentrica rispetto alle due zone disponibili, indicata nella figura 13a e, in azzurro, nella figura 13b. Il circuito DC sarà sviluppato verso la parete di confine verso l'esterno (area B) in modo da semplificare i collegamenti con il Dry-Cooler; per il circuito RF, sarà disponibile l'altra zona, qualora la B non fosse sufficiente.

Gli scambiatori IE-SC e RF-SC, in comune tra i due circuiti, saranno posizionato il più possibile in prossimità del componente in prova e quindi baricentrico tra le due zone.

Il Dry-cooler sarà installato all'esterno della Hall, direttamente a livello suolo o sul tetto dell'edificio affiancato che già ospita la torre di refrigerazione dell'impianto VASIB.

Si evidenzia che l'impianto senza il componente da testare non è "chiuso"; i circuiti in effetti inizieranno e termineranno in corrispondenza delle valvole di sezionamento dal componente in prova. Non conoscendo

le caratteristiche né gli orientamenti degli attacchi di quest'ultimi e puntando a poter provare il maggior numero possibile di tipologie e taglie, si cercherà la massima flessibilità ricorrendo ove possibile a tubi flessibili e/o prevedendo la possibilità di modifiche e adattamenti rapidi.

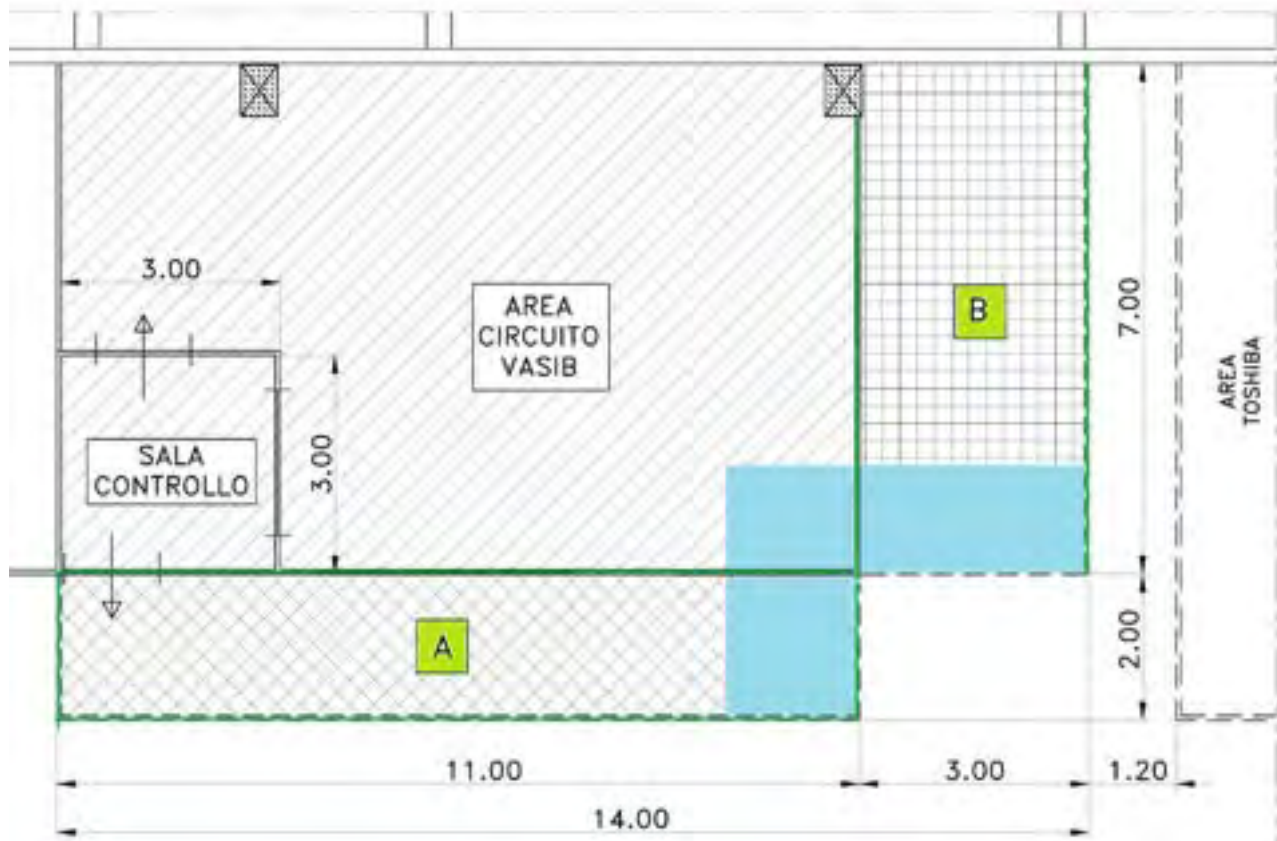


Figura 13b – Impianto VASIB attuale e aree disponibili per l'ampliamento a impianto CERCO

La recinzione sarà modificata ed adeguata alle nuove dimensioni dell'impianto. La sala consolle rimarrà quella attuale, eventualmente modificando l'ingresso.

La hall è dotata di una carro ponte di portata max =5 tonnellate che consente il posizionamento e lo spostamento dei componenti di maggiore peso e ingombro.

2.4.2 Adeguamento strumentazione

Per la gestione ed acquisizione dati dell'impianto si utilizzerà sia la strumentazione dell'impianto VASIB già presente sia dei sensori da installare ex novo per i nuovi circuiti ed a integrazione del circuito VA.

Nei paragrafi relativi ai vari circuiti e nello schema di fig. 12 sono state già indicate le grandezze da acquisire prevedibili allo stato attuale; nella tabella 15 sono riportate in maniera complessiva, individuando la strumentazione con sigle relative al circuito, tipo di misura e posizione nel circuito. Inoltre è indicato, ove possibile al momento, il range di misura previsto e il tipo di sensore. La strumentazione preesistente dell'impianto VA indicata in arancione è quella strettamente necessaria per il corretto funzionamento del circuito, per un totale di 16 misure.

In grigio sono evidenziati i nuovi sensori; sono state previste anche delle misure di riserva, da attribuire all'insorgere di necessità al momento non prevedibili. Similmente, non è possibile sapere se i Componenti Testati avranno a bordo la strumentazione necessaria per la valutazione delle loro prestazioni adeguata alle nostre necessità. Questo aspetto dovrà essere affrontato caso per caso, al momento della scelta del componente da testare. Una grandezza quasi certamente da misurare sarà la potenza elettrica da loro assorbita; questa necessità è considerata nella riga evidenziata in celeste. In prima istanza si confida di

effettuare questa misura con un unico wattmetro ma potrebbe nascere l'esigenza di più acquisizioni in parallelo.

Tabella 15 – Strumentazione impianto CERCO

Name	Physical Quantity	Unit Measure	Measure Range	Sensor Type
VA_TinSRlf	temperatura	°C	10-50 °C	Termoresist.
VA_poutPV	pressione	bar	2-22 bar	trasm. press.
VA_G	port. massa	kg/h	0-1500 kg/h	coriolis
VA_pinCE	pressione	bar	2-22 bar	trasm. press.
VA_TinCE	temperatura	°C	20-200 °C	Termoresist.
VA_ToutScar	temperatura	°C	140-220 °C	Termoresist.
VA_pS3	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.
VA_p_disp.	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.
VA_Tin_VS	temperatura	°C	120-220 °C	Termoresist.
VA_ToutSRlc	temperatura	°C	60-200 °C	Termoresist.
VA_pinVRi	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.
VA_poutVRi	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.
VA_TinPV	temperatura	°C	10-50 °C	Termoresist.
VA_TparCE	temperatura	°C	20-300 °C	Termocoppia
VA_pinPV	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.
VA_LivSerb	livello	cm H2O		Trasm. pres. Diff.
VA_pS7	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.
VA_pS11	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.
VA_ICE	corrente cont.	Ampere	0-3200 A	amperometro
VA_poutVS	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.
VA_pS6	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.
VA_pinVS	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.
VA_dpVS	pres. differ	bar	0-5 bar	pres. differ
VA_pcalch	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.
VA_poutCE	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.
VA_p disp.	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.
VA_pS5	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.
VA_pS4	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.
VA_VCE	tensione	Volt	0-60 Vc.c	Da alim. Elettr
VA_pS10	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.
VA_pS9	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.
VA_pS8	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.
VA_ToutVS	temperatura	°C	0-500 °C	Termocoppia
VA_Tamb	temperatura	°C	0-500 °C	Termocoppia
VA_poutScar	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.
VA_dpcurva	pressione	bar	0-2.5	trasm. press.
VA_pS1	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.

VA_pS2	pressione	bar	2-20 bar	trasm. press.
VA_ToutCE	temperatura	°C	20-220	Termoresist.
IE_TinCT	temperatura	°C	20-200 °C	Termoresist.
IE_ToutCT	temperatura	°C	20-200 °C	Termoresist.
IE_pinCT	pressione	bar	0-5 bar	trasm. press.
IE_poutCT	pressione	bar	0-5 bar	trasm. press.
IE_p riserva		bar		trasm. press.
IE_T riserva		°C		Termoresist.
IE-G	port. massa	kg/s		coriolis
DC_TinCT	temperatura	°C	0-100 °C	Termoresist.
DC_ToutCT	temperatura	°C	0-100 °C	Termoresist.
DC_pinCT	pressione	bar	0-5 bar	trasm. press.
DC_poutCT	pressione	bar	0-5 bar	trasm. press.
DC_TinDC	temperatura	°C	0-100 °C	Termoresist.
DC_ToutDC	temperatura	°C	0-100 °C	Termoresist.
DC_TinIE	temperatura	°C	0-100 °C	Termoresist.
DC_G	port. massa	kg/s		coriolis
DC_p riserva		bar		trasm. press.
DC_T riserva		°C		Termoresist.
RF_TinCT	temperatura	°C	0-100 °C	Termoresist.
RF_ToutCT	temperatura	°C	0-100 °C	Termoresist.
RF_pinCT	pressione	bar	0-5 bar	trasm. press.
RF_poutCT	pressione	bar	0-5 bar	trasm. press.
RF_TinIE	temperatura	°C	0-100 °C	Termoresist.
RF_ToutIE	temperatura	°C		Termoresist.
RF_G	port. massa	kg/s		coriolis
RF_p ris		bar		Termoresist.
RF_T ris		°C		trasm. press.
ORC_Wel	W elettr. ORC	W	0-30 kW	wattmetro
CT	W elettrica			wattmetro
	Tensione CE	V	0-50	

Infine si ricorda che le misure elettriche dell'alimentatore, tensione e corrente, da cui si ricava la potenza assorbita in CE, sono fornite dallo stesso componente.

Per le nuove misure di temperatura si è orientati per l'uso di termoresistenze, lasciando comunque aperta l'opzione delle termocoppie nei casi in cui fossero preferibili per le ridotte dimensioni.

Le portate saranno acquisite con misuratori di portata massica ad effetto coriolis.

Nella tabella 16 è presentata, allo stato attuale della progettazione, una sintesi della strumentazione presente (in arancione) utilizzabile per la gestione dell'impianto e da installare ex novo, in blu, sia sul circuito VA che sui i nuovi circuiti.

Tabella 16 – Strumentazione impianto CERCO esistente e da approvvigionare

	Temp.		pressione	portata	Pot. elettrica	Mis. elettriche
	RTD	TC				
VA	5	2	10	1		1
IE	2		2	1		
DC	6		3	1		
RF	5		3	1		
RPE					1	
CT					1	
totali	5+13	2	10+8	1+3	2	1

2.4.3 Adeguamento Sistema di Acquisizione e Gestione impianto

Per quanto concerne le modifiche che verranno apportate al sistema hardware e software, queste sono soprattutto legate all'evoluzione delle tecnologie nel settore dell'acquisizione dati: in pochi anni si è passati da schede basate su bus AT e poi PCI, a sistemi d'acquisizione dati e controllo, molto più veloci e efficienti, basati sulla tecnologia USB, Ethernet ed anche wireless.

Il vecchio impianto aveva come architettura h/w un pc configurato con:

- una scheda d'acquisizione della National Instruments (d'ora in avanti NI) AT-MIO-16XE-50,
- una scheda multiplexer AMUX-64T
- moduli di condizionamento segnali della serie NI 5B;

Il software usato per lo sviluppo era NI LabView; anche nel nuovo sistema di acquisizione il s/w rimarrà NI LabView, ovviamente in una versione aggiornata. Come riferimento per la strumentazione da acquisire si considera quanto riportato nel paragrafo precedente.

Andando più nel dettaglio il nuovo sistema sarà così configurato:

- 1 PC con cabinet "tiny" (figura 14) facilmente installabile anche all'interno di rack. Il sistema operativo sarà Microsoft Windows 10 e le risorse di RAM e di disco rigido adeguate ai compiti di controllo e acquisizione di dati.



Figura 14 – Immagine pc cabinet "Tiny"

- Ambiente di sviluppo software NI LabVIEW 2013 Full Development System.

- 2 cestelli “chassis” NI della serie CompactDAQ (figura 15) da otto slot (cDAQ-9178) e quattro slot (cDAQ-9174) per alloggiare i diversi moduli necessari alla lettura di temperature (sia TC che RTD), di segnali in Volt, moduli di relays per la gestione di controlli on-off e moduli di uscite analogiche in Volt o mA per il controllo di eventuali PID.



Figura 15 – Immagine cestelli chassis utilizzati

- 3 moduli NI CompactDAQ 9205 da 16 canali ciascuno con ingressi analogici per letture in Volt dei segnali provenienti dai trasmettitori di pressione, potenze elettriche e misuratori di portata.
- 1 modulo NI CompactDAQ 9213 da 16 canali per letture di temperatura da TC.
- 5 moduli NI CompactDAQ 9217 da 4 canali ciascuno, per letture di temperatura da termoresistenze(RTD) PT100
- 2 moduli con *relay* elettromeccanici NI CompactDAQ 9481 da 4 *relay* ciascuno, per la gestione dei 6 controlli ON-OFF, già previsti per il corretto funzionamento del circuito VASIB, di:
 - blocco caldaia/pompa;
 - blocco pompa;
 - carico H₂O;
 - scarico H₂O;
 - carico N;
 - scarico N.
- 1 modulo per uscite analogiche NI CompactDAQ 9264 da 16 canali per la regolazione automatica delle valvole di regolazione già presenti e previste.

Il dimensionamento del sistema di acquisizione e gestione, oltre a tener conto della strumentazione prevista e indicata nel paragrafo precedente, è stato dimensionato in maniera da poter far fronte a un ragionevole incremento del numero di sensori, controlli e regolazioni; in particolare si è valutata l'ipotesi di dover testare un prototipo invece di componenti commerciali già dotati di una propria strumentazione e gestione.

Per quanto riguarda le logiche di controllo e sicurezza dell'impianto, almeno in una prima fase rimarranno pressoché identiche a quelle già implementate; si farà quindi riferimento all'elenco di grandezze, direttamente o indirettamente indicatrici di malfunzionamenti, già identificate nella tabella 2 per l'impianto VASIB. Durante la progettazione definitiva saranno individuate ed implementate altre logiche di controllo e sicurezza legate al funzionamento dei nuovi circuiti e dell'impianto CERCO in generale.

Il software si occuperà solo del primo livello di sicurezza che, attraverso le logiche di controllo, una volta superati i limiti di allarme, provvederà ad attivare le logiche di intervento implementate a console. La maggior parte degli interventi di fondamentale importanza sono e saranno sdoppiati per aumentare al massimo la sicurezza d'impianto, laddove necessario aggiungendo anche pressostati e termostati in campo.

Nel complesso il programma software sarà più leggero e “*performante*”, grazie anche a nuovi “*widget*”(oggetti grafici) di gestione dell’interfaccia utente e nuove funzionalità dell’ambiente di sviluppo; rimarrà comunque un modulo software principale “Main” dal quale sarà possibile impostare tutti i parametri fondamentali di funzionamento, i parametri d’acquisizione ed i valori di controllo; all’interno del modulo “Main” verranno poi richiamati diversi “subVI” (subroutine nel gergo LabVIEW) per le diverse funzioni: gestione monitor; lettura e/o scrittura dei valori provenienti dai moduli hardware; gestione allarmi; registrazione dati su file.

2.4.4 Interventi meccanici

In questa prima fase è stata svolta una ricognizione dei circuiti esistenti, verificando e effettuando gli interventi di ripristino e di normale manutenzione quali controllo olio pompe, collegamenti, isolamenti termici.

Si è inoltre valutata le entità degli interventi di modifica dell’esistente e realizzazione dei nuovi circuiti.

Si sono infine esaminate, anche dal punto di vista di realizzazione meccanica, le possibili soluzioni impiantistiche adottabili, rimandando alla progettazione finale gli aspetti realizzativi.

2.4.5 Interventi elettrici

Si è verificato lo stato delle linee esistenti, valutato gli interventi di adeguamento della consolle attuale e delle necessità di cablaggio della strumentazione oltre alle nuove necessità di quadri elettrici di potenza per i nuovi circuiti. Stabilita la fattibilità degli ampliamenti ipotizzabili, visto il loro stretto collegamento con la realizzazione e messa in opera del nuovo impianto, si è deciso di rimandare direttamente alla progettazione definitiva il dimensionamento dei componenti e servizi elettrici corrispondenti.

3 Conclusioni

Il lavoro svolto in questa attività ha consentito di individuare i range di prestazioni ottenibili dall’implementazione dell’impianto VASIB nel nuovo impianto CERCO.

Nella parte iniziale si è descritto l’impianto VASIB, che fornirà la potenza termica necessaria alle prove, evidenziando le modifiche necessarie per la sua implementazione.

Partendo da queste informazioni e facendo riferimento all’ipotesi di prove su tecnologie di sicuro interesse per la mini-micro co-trigenerazione, quali le pompe di calore ad assorbimento a bromuro di litio a singolo stadio, indicate per il recupero di calore a bassa temperatura, i cicli ORC per la produzione di energia elettrica e sistemi di accumulo di calore, si è quindi scelta l’architettura dell’impianto, tramite valutazioni tra varie ipotesi possibili, definendo sia i circuiti ausiliari da realizzare che i range di condizioni sperimentali ottenibili dall’impianto CERCO.

Si è inoltre definita la strumentazione minima dei vari circuiti, i sistemi di regolazione delle grandezze da controllare e l’adeguamento del sistema di acquisizione dati e gestione dell’impianto. Infine è stata presentata l’area dove sarà realizzato il nuovo impianto e gli spazi disponibili.

Le analisi svolte hanno mostrato:

- La capacità del nuovo impianto a svolgere prove su AHP a bromuro di litio fino a potenze di raffreddamento di circa 80 kW, variando tutti i parametri di ingresso nel range previsto per i modelli attualmente in produzione, con ampi margini per prove al di fuori di questi valori.
- La possibilità di prove su ORC sperimentali partendo da temperature di ingresso dell’acqua di alimentazione di 150°C per potenze fornite fino a 120 kW fino a temperature massime di circa 180 °C per 60 Kw di potenza termica assorbita.
- La potenzialità di realizzare prove di carico/scarico termico con potenze fino a 120 kW di sistemi di accumulo, fino a temperature di accumulo di 130 °C, valore di riferimento per l’attività parallela sui sistemi di accumulo termico.

Oltre alla valutazione dei casi scelti come riferimento, risulta inoltre evidente come la struttura ipotizzata e le potenzialità dell’impianto CERCO siano facilmente utilizzabili per prove su altre tecnologie che potranno

essere scelte come interessanti per la mini-micro co-trigenerazione, nei limiti definiti nell'attività, ossia con l'utilizzo come fonte primaria di calore di bassa qualità.

Come ulteriore risorsa, nel caso fosse ritenuto necessario, si potrà valutare l'innalzamento dei limiti di esercizio del circuito VASB a valori più prossimi ai limiti progettuali di 140 kW, 25 bar, T_{sat} di 224 °C e/o pensare ad un'alimentazione con acqua in flusso bifase a basso titolo.

L'integrazione di questo lavoro con i risultati ottenuti nelle attività del Progetto D.4, definendo le tecnologie e i range di prova di interesse, consentirà di passare alla progettazione finale dell'impianto.

4 Riferimenti bibliografici

1. G. Boccardi "Progetto termoidraulico e realizzazione dell'impianto vasib per prove in bifase su valvole di sicurezza" – Report ENEA /1998
2. G. Boccardi "Rapporto di sicurezza Impianto VASIB" Report *EK106019* –TER- ENETERM – ENEA – C.R.Casaccia –, Novembre 2006
3. F. Rossin, A. Lombardi "Impianto VASIB – progetto e realizzazione: quadro di controllo, impianto elettrico, alimentatore e strumentazione" Report ENEA /1998
4. L. Simonetti "Impianto VASIB – progetto e realizzazione: sistema di acquisizione dati e controllo" "Impianto VASIB – progetto e realizzazione" Report ENEA /1998
5. G. Boccardi, G.P. Celata "Spostamento impianto VASIB dall'ed. C.4 al T.21 e modifiche per prove di strumentazione innovativa" Report ENEA /2009
6. Y. Katto, H. Ohno, "An improved version of the generalized correlation of critical heat flux for the forced convective boiling in uniformly heated vertical tubes" *International J. Heat Mass Trasfer*, Vol. 27, n° 9 pp 1641-1648, 1984.
7. Brouchure tecnica MAYA-Yazaki "Refrigeratori ad assorbimento alimentati ad acqua calda serie WFC SC"
8. N. Calabrese, A. Fanchiotti, "Messa in funzione, analisi sperimentale e caratterizzazione dell'innovativo impianto di solar heating and cooling realizzato a servizio dell'Edificio F92" Report RdS/2012/122
9. G. Corallo, A. Simonetti "Gli impianti di solar cooling a servizio di serre agricole: prove sperimentali" Report RdS/2013/089

5 Abbreviazioni ed acronimi

CERCO (Circuit for Energy Recovery Components)

VASIB (VAlvole di Sicurezza in Bifase)

ORC	Organic Rankine Cycle
AHP	Absorption heat pump
SAT	Sistemi di Accumulo Termico
SA	Sistema di Acquisizione dati
COP	Coefficient of Performance
GUE	Gas Utilization Efficiency
EER	Energy Efficiency Ratio
VA	circuito VASIB
IE	circuito intermedio
DC	circuito rimozione calore
RF	circuito rimozione freddo
RPE	rimozione potenza elettrica
CT	componente da testare
TF	circuito torre evaporativa
SP	serbatoio in pressione
PV	pompa volumetrica
VR	valvola di regolazione

CE	caldaia elettrica
TF	circuito torre evaporativa
SR	scambiatore recuperatore
SC	scambiatore di calore
SdP	sezione di prova
VS	valvola di sicurezza
FM	filtro meccanico
EV	elettrovalvola on-off
Serb	serbatoio ricarica acqua
S	punti di prova

Grandezze

G	portata	[kg/s]
p	pressione	[bar]
D	Diametro	[m]
E	Energia	[kJ]
q''	Flusso di calore	[W/m ²]
T	Temperatura	[°C]
W	Potenza	[kW]
Liv	livello	[cmH ₂ O]
h	entalpia	[kJ/kg]
V	tensione	[V]
A	corrente	[A]

Simboli Greci

η	rendimento ciclo
--------	------------------

Pedici

a	alimento
c	climatizzazione
r	raffreddamento
e	evaporatore
el	elettrica
in	ingresso
out	uscita
max	massimo
tot	totale
lf	lato freddo
lc	lato caldo
par	parete
calc	calcolo