



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Sviluppo di un ambiente di monitoraggio, controllo e gestione
remota di una rete di micro_poligeneratori distribuiti

Deliverable A

*G. Angrisani, C. Roselli, M. Sasso
in collaborazione con A. Rosato, S. Sibilio*



SVILUPPO DI UN AMBIENTE DI MONITORAGGIO, CONTROLLO E GESTIONE REMOTA DI UNA RETE DI MICRO_POLIGENERATORI DISTRIBUITI - DELIVERABLE A

G. Angrisani, C. Roselli, M. Sasso (Università degli Studi del Sannio, Dipartimento di Ingegneria)

In collaborazione con A. Rosato, S. Sibilio (SUN)

Settembre 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia

Progetto: Studi e Valutazioni sull'Uso Razionale dell'Energia: Strumenti e tecnologie per l'efficienza energetica nel settore dei servizi

Responsabile Progetto: Ilaria Bertini, ENEA



Unità di Ricerca:
Università degli Studi del Sannio
Dipartimento di Ingegneria

**Sviluppo di un ambiente di
monitoraggio, controllo e gestione
remota di una rete di
micro_poligeneratori distribuiti**

Progetto 3.1: “Strumenti e tecnologie per l'efficienza energetica nel settore dei servizi”: Accordo di Collaborazione tra ENEA e Università degli Studi del Sannio, Dipartimento di Ingegneria, per un'attività di ricerca dal titolo: “Creazione di una Virtual Power Plant per l'analisi sperimentale di sistemi di poligenerazione di piccola taglia”

Deliverable A

Dott. Ing. Giovanni Angrisani
Dott. Ing. Carlo Roselli
Prof. Ing. Maurizio Sasso

in collaborazione con:
Dott. Ing. Antonio Rosato, SUN
Prof. Ing. Sergio Sibilio, SUN

INDICE

1.	Introduzione	3
2.	Impianto di poligenerazione presso il laboratorio di Fisica Tecnica dell'Università del Sannio .	5
2.1.	Premessa.....	5
2.2.	Descrizione.....	6
3.	Impianto di poligenerazione presso il laboratorio per Il Controllo dell'Ambiente Costruito della Seconda Università di Napoli	11
3.1.	Premessa.....	11
3.2.	Descrizione.....	11
4.	Sistema di monitoraggio, controllo e gestione remota “PoliLab”	17
4.1.	Premessa.....	17
4.2.	Software "TeamViewer"	19
4.3.	Software di monitoraggio, controllo e gestione remota dell'impianto di poligenerazione Unisannio	21
4.3.1	"GecMon": software di acquisizione dati dal MCHP	23
4.3.2	Software "EcsWin": acquisizione dati su assorbimenti elettrici	29
4.3.3	Software "PoliLab_Unisannio"	30
4.3.4	Cartella "Risultati sperimentali"	39
4.4.	Software di monitoraggio, controllo e gestione remota dell'impianto di poligenerazione SUN	39
5.	Conclusioni	41
6.	Bibliografia	41

•

1. INTRODUZIONE

Con il termine di trigenerazione o poligenerazione si intende la “produzione” combinata di energia elettrica e/o meccanica, energia termica e energia frigorifera a partire da una sola fonte di energia primaria. Un impianto di trigenerazione è composto da un sistema di cogenerazione (motore primo, generatore elettrico e sistema di recupero dai reflui termici del motore) accoppiato con un sistema di “produzione” del freddo: relativamente a quest'ultimo, sono diverse le tecnologie che possono essere accoppiate termicamente, meccanicamente o elettricamente ad un cogeneratore al fine di garantire contemporaneamente energia elettrica, termica e frigorifera:

- pompa di calore a compressione di vapore ad azionamento meccanico, HP (Heat Pump);
- pompa di calore a compressione di vapore ad azionamento elettrico, EHP (Electric Heat Pump);
- pompa di calore ad assorbimento, ABHP (ABsorption Heat Pump);
- pompa di calore ad adsorbimento, ADHP (ADsorption Heat Pump);
- sistemi di climatizzazione dotati di materiali essiccanti, Desiccant Wheel DW, (HVAC-DW).

L'utilizzo della trigenerazione trova giustificazione nel fatto che durante i mesi estivi l'energia termica potenzialmente disponibile dal cogeneratore solo di rado può essere utilizzata completamente “on site”, soprattutto nelle applicazioni di piccola scala, tipicamente appartenenti al settore domestico o piccolo commerciale, in cui l'aliquota per la produzione di acqua calda sanitaria risulta piuttosto limitata. D'altra parte, sempre nei mesi estivi, ormai da diversi anni si sta assistendo ad una crescente richiesta di energia frigorifera, per lo più per il condizionamento ambientale. In tale scenario un sistema di trigenerazione, basato su pompe di calore ad azionamento termico, consente di utilizzare efficientemente l'energia termica recuperata dal processo cogenerativo per rendere disponibile energia frigorifera, tipicamente sotto forma di acqua refrigerata, evitando la pressoché totale dispersione nell'ambiente dell'energia termica recuperata dal cogeneratore. La trigenerazione trova applicazione per soddisfare utenze caratterizzate dalla presenza delle tre richieste energetiche (elettrica-termica-frigorifera), che possono presentarsi sia disgiuntamente che contemporaneamente. Le utenze caratterizzate dalla contemporaneità delle richieste di energia termica, frigorifera ed elettrica appartengono tipicamente al settore industriale (settore alimentare, produzioni climatizzate, ecc), ma bisogna sottolineare che, nei mesi estivi, anche le utenze del settore civile e terziario hanno necessità contemporanea, oltre che di energia elettrica per l'alimentazione delle apparecchiature elettriche e di energia frigorifera per il raffrescamento ambientale, anche di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria. La dotazione

impiantistica dei laboratori coinvolti nel progetto, dell'Università degli Studi del Sannio e della Seconda Università degli Studi di Napoli, appare complessa e rappresentativa di diverse tecnologie che hanno raggiunto la maturità commerciale e che soddisfano le richieste frigo-termo-elettriche di utenze residenziali e del piccolo terziario interagenti con reti di distribuzione locale (elettriche e termiche). Gli impianti sperimentali sono equipaggiati con sensori, trasduttori ed ambienti di analisi e sviluppo che permettono di acquisire localmente le principali proprietà termodinamiche e termoigrometriche dei fluidi in gioco (aria, acqua calda e refrigerata), nonché i flussi bidirezionali di energia elettrica ed i consumi di gas naturale. E' possibile quindi effettuati bilanci di energia relativi ai sistemi complessivi ed ai principali componenti.

In questa relazione vengono descritti in dettaglio i due impianti sperimentali utilizzati nel progetto, evidenziando gli interventi introdotti per il monitoraggio ed il controllo da sede remota delle principali proprietà termodinamiche e termoigrometriche dei fluidi in gioco. In particolare verrà descritto il laboratorio virtuale denominato "*PoliLab*", al momento costituito dai due laboratori di poligenerazione ubicati in Campania, al fine di evidenziare le potenzialità del software finalizzato all'ottimizzazione termo_economica dei sistemi di poligenerazione distribuita con controllo centralizzato. La trattazione seguente è prioritariamente indirizzata a fornire un manuale operativo agli operatori remoti di "*PoliLab*". Si rimanda alla relazione "Risultati dell'attività sperimentale su sistemi distribuiti di micro_poligenerazione - Deliverable B" per un'ampia panoramica dei risultati sperimentali ottenuti.

Si evidenzia che i ricercatori coinvolti in quest'attività dell'Università del Sannio, della Seconda Università di Napoli e dell'ENEA già collaborano o hanno collaborato in progetti di ricerca nazionali ed internazionali, finalizzati all'analisi teorica e sperimentale della poligenerazione di piccola taglia, quali:

- "Progettazione, realizzazione e prova di prototipi di microcogeneratori per utenze domestiche e/o commerciali", finanziato dalla regione Campania nell'ambito della legge regionale 41, settore Risparmio energetico;
- "Studio teorico e sperimentale della poligenerazione di piccola taglia con ruote essiccanti", PRIN07;
- "Creazione di un database di sistemi di microcogenerazione" (Tema di ricerca 5.4.1.4 "Sviluppo di linee guida ed indici di riferimento per il legislatore") inserito nell'ambito del Piano Triennale della Ricerca di Sistema e Piano Operativo Annuale per le attività di Ricerca e Sviluppo di Interesse Generale per il Sistema Elettrico Nazionale;
- Annex 42, "FC+COGEN-SIM The Simulation of Building-Integrated Fuel Cell and Other Cogeneration Systems", promosso dall'IEA (International Energy Agency);

- Annex 54, "Analysis of Micro-Generation & Related Energy Technologies in Buildings", promosso dall'IEA (International Energy Agency).

Si rimanda alla bibliografia per un'esaustiva analisi dei risultati sperimentali e teorici ottenuti.

2. IMPIANTO DI POLIGENERAZIONE PRESSO IL LABORATORIO DI FISICA TECNICA DELL'UNIVERSITÀ DEL SANNIO

2.1. PREMESSA

In un sistema convenzionale di condizionamento, l'aria che deve essere introdotta nell'ambiente confinato per bilanciare i carichi termici sensibili e latenti, viene raffreddata al di sotto della sua temperatura di rugiada, per ridurre l'umidità specifica, tipicamente da una macchina frigorifera elettrica a compressione di vapore (*"deumidificazione meccanica"*), e successivamente post-riscaldata, elettricamente o con una caldaia, fino alla temperatura di immissione desiderata. In alternativa, per bilanciare il carico latente, è possibile utilizzare sistemi che adoperano materiali essiccanti in fase solida; la configurazione più adottata si basa sull'utilizzo di una ruota essiccante o deumidificatrice, che consiste in un rotore di materiale adsorbente (gel di silice, allumina attivata, setacci molecolari...) in lenta rotazione tra due flussi di aria in controcorrente. Uno dei due flussi è costituito da aria, di processo, prelevata dall'esterno o parzialmente ricircolata che, attraversando la ruota, cede alla matrice adsorbente (adsorbimento fisico). Essendo tale processo approssimativamente isoentalpico, la riduzione dell'umidità specifica dell'aria nel passaggio attraverso il rotore ne determina un incremento della temperatura. L'aria di processo deve essere quindi raffreddata fino alla desiderata temperatura di immissione, per bilanciare i carichi sensibili degli ambienti da condizionare, ad esempio con un raffreddatore evaporativo, diretto o indiretto, o mediante una macchina frigorifera a compressione di vapore. Il secondo flusso d'aria, di rigenerazione, anch'esso prelevato dall'esterno o ricircolato dagli ambienti interni, viene riscaldato fino ad un'opportuna temperatura di rigenerazione, dipendente dal tipo di materiale essiccante e dal grado di deumidificazione che si vuole ottenere sul lato aria di processo. Tale riscaldamento avviene tipicamente mediante una caldaia o da un cogeneratore alimentati a gas naturale. L'aria calda di rigenerazione, nel passaggio attraverso la ruota, ne asporta il vapor d'acqua precedentemente adsorbito, garantendo il funzionamento in continuo del sistema.

2.2. DESCRIZIONE

Il sistema di poligenerazione analizzato sperimentalmente presso l'Università degli Studi del Sannio, a Benevento, è costituito da un cogeneratore alimentato a gas naturale, da un refrigeratore d'acqua elettrico e da una caldaia a gas naturale. Il microcogeneratore, MCHP (AISIN SEIKI, mod. GECC60A2N) fornisce una potenza elettrica pari a 6.0 kW e una termica pari a 11.7 kW ($\eta_{el} = 28.8\%$, $\eta_{th} = 56.2\%$), recuperata dal liquido di raffreddamento del motore e dai gas combusti. Il motore, derivato dalle già collaudate GHP (pompe di calore mossa da un motore endotermico alimentato a gas naturale), è un 3 cilindri a 4 tempi, per un totale di 952 cm³ ed è dotato di 2 valvole per cilindro. L'energia termica disponibile dal MCHP viene utilizzata per la rigenerazione del materiale adsorbente della DW, gel di silice, a temperature comprese tra i 60 e i 70°C, con l'eventuale contributo da parte della caldaia, nei giorni più caldi e umidi. Nel caso in cui il cogeneratore renda disponibile energia termica in eccesso nel periodo estivo, un carico termico esterno consente di simulare il fabbisogno di acqua calda sanitaria e/o il collegamento ad una rete esterna di teleriscaldamento. La potenza elettrica erogata dal cogeneratore è utilizzata per attivare gli ausiliari dell'Unità di Trattamento dell'Aria (ventilatori, pompe, ...), Figura 1, il chiller elettrico (RC Group- modello Cilli.Idrocompl A STD, potenza frigorifera 8.5 kW, COP=3) e le utenze elettriche dirette. L'UTA consente il trattamento, in condizioni estive (aria esterna: temperatura = 32°C, umidità specifica = 15 g/kg, umidità relativa = 55%), di una portata d'aria di 800 m³/h, fino alle desiderate condizioni di immissione in ambiente (temperatura = 13–19°C, umidità specifica = 7–11 g/kg). Al suo interno è inoltre installato un raffreddatore evaporativo indiretto, atto a preraffreddare l'aria di processo in uscita dalla ruota prima del suo ingresso nella batteria fredda. Il sistema descritto può anche immettere energia elettrica in rete, nel caso di un surplus di produzione da parte del MCHP, o prelevarla da essa; infine il sistema HVAC può anche interagire con i sistemi di “produzione” separata (la rete di distribuzione elettrica e la caldaia a gas naturale per l'energia termica), escludendo il cogeneratore. L'UTA presente, sia con riferimento al materiale essiccante adottato (silica gel) che alla tipologia impiantistica, era stata già in fase di progettazione concepita per permettere la rigenerazione del materiale sorbente con reflui termici a bassa/media temperatura e quindi per interagire energeticamente con pannelli solari, ancora non introdotti. A tal fine l'impianto è già stato equipaggiato di un termoaccumulatore da 1000 litri (Cordivari, Eco combi 3) con apporti energetici a differenti livelli di temperatura, derivanti dai pannelli solari, dal circuito di recupero del cogeneratore e quindi, in modalità tradizionale, dalla caldaia alimentata a gas naturale. In Figura 2 si riporta lo schema di funzionamento dell'impianto, mentre in Tabella 1 viene riportato l'elenco dei sensori utilizzati, nonché le loro caratteristiche metrologiche. L'aria da trattare (nel

seguito, *aria di processo*), viene prelevata dall'ambiente esterno e fluisce attraverso la parte inferiore della ruota, Figura 3, in cui si verifica una riduzione dell'umidità specifica e un aumento della temperatura. L'aria deumidificata, calda e secca, fluisce nello scambiatore a flussi incrociati, Figura 4, in cui si preraffredda scambiando energia termica con un secondo flusso d'aria prelevato dall'esterno, in modo da ridurre il carico frigorifero richiesto al chiller. In seguito l'*aria di processo* entra in contatto con una batteria fredda in cui circola acqua refrigerata prodotta dal refrigeratore di liquido condensato ad aria ad alimentazione elettrica; tale scambio termico può determinare o meno un processo di condensazione, a seconda delle condizioni ambientali esterne. In particolare si avrà formazione di condensa nei giorni in cui si ha un valore particolarmente elevato dell'umidità relativa, mentre in caso di condizioni esterne non particolarmente gravose è la ruota deumidificatrice che provvede al bilanciamento del carico latente tramite deumidificazione chimica e non più meccanica.



Figura 1. Unità di Trattamento Aria dotata di ruota essiccante

A valle della batteria fredda è comunque presente una sezione di scarico della condensa eventualmente prodotta dall'interazione batteria fredda – aria di processo. In uscita dalla batteria fredda l'aria si trova nelle condizioni termoigrometriche adatte per poter essere immessa nei locali, e garantire i valori di temperatura e umidità richiesti per assicurare le condizioni di benessere termoigrometrico agli occupanti l'ambiente condizionato.

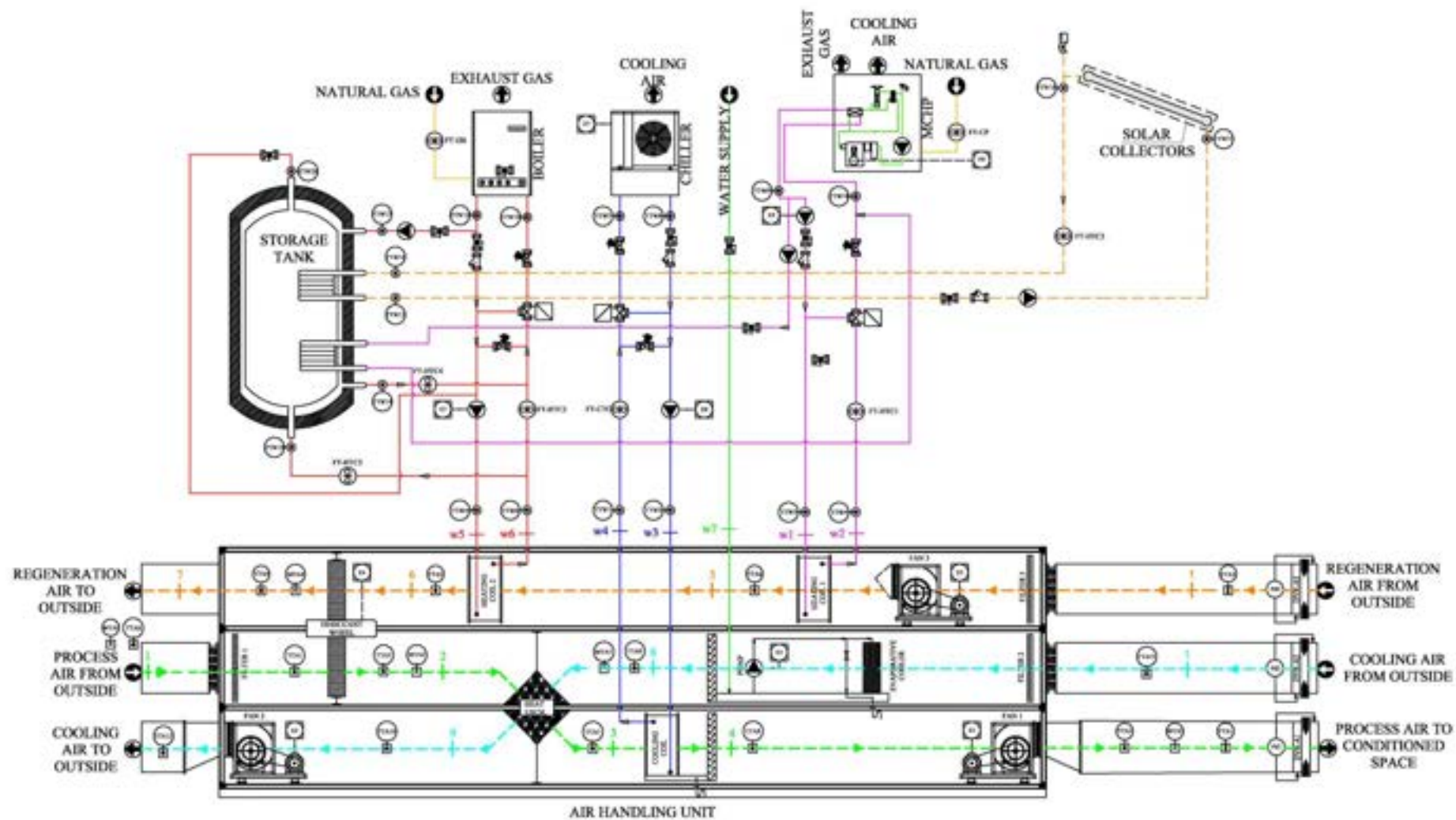


Figura 2. Schema dell'impianto

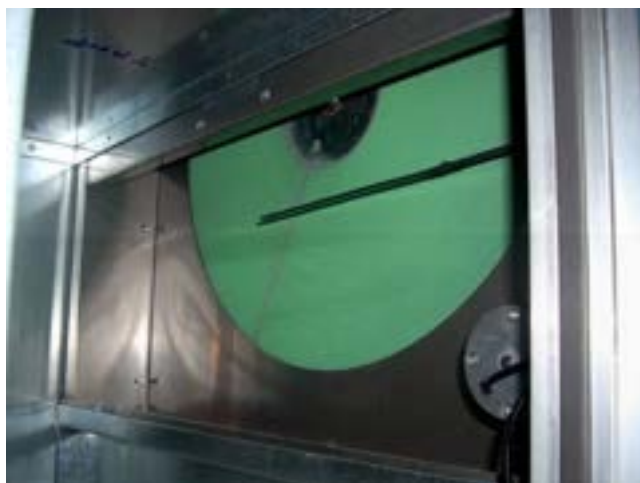


Figura 3. Il settore di adsorbimento della ruota



Figura 4. Scambiatore a flussi incrociati

Tabella 1. Legenda dei sensori utilizzati nell'impianto sperimentale

SENSORS				
NAME AND SYMBOL		MEASURED PARAMETER	MEASURING RANGE	ACCURACY
TTA0,3,7...12		AIR TEMPERATURE	-50 / +50 °C	± 0.9 °C
TTA2,4...6		AIR TEMPERATURE	-10 / +90 °C	± 0.15 °C
MTA0		AMBIENT RELATIVE HUMIDITY	0 - 99%	± 5%
MTA2, ... 5		RELATIVE HUMIDITY	0 - 99%	± 5%
FTA1,2		AIR VELOCITY	0 - 10 m/s	± 0.2 m/s
FT-HTC1...5 FT-CTC		VOLUMETRIC FLOW RATE	2 - 60 L/min	± 2% FS
PE1, ... 3		DIFFERENTIAL PRESSURE	0 - 500 Pa	± 14 Pa
FT-HB FT-CP		MASS FLOW RATE	0 - 2.5 Nm ³ /h	± 0.2% FS
TTW1, ... 20		WATER TEMPERATURE	-10 / +120 °C	± 1.4 °C

Il flusso d'aria di raffreddamento, anch'esso prelevato dall'ambiente esterno, dopo essere stato filtrato, viene umidificato adiabaticamente tramite raffreddamento evaporativo diretto in un umidificatore, del tipo a pacco bagnato. Tale processo riduce la temperatura dell'aria di raffreddamento, al fine di incrementare la differenza di temperatura tra quest'ultima e l'aria di processo nello scambiatore di recupero a flussi incrociati, e dunque favorire lo scambio tra i due flussi. Si osservi che tale scambiatore di recupero è utilizzato per ridurre la temperatura dell'aria di processo all'ingresso della batteria fredda, ottenendo il duplice vantaggio di un aumento del COP del chiller elettrico e di una riduzione della potenza frigorifera erogata dalla macchina stessa, e dunque di quella elettrica assorbita. Infine, è presente un terzo flusso d'aria, anch'esso prelevato dall'esterno, che rappresenta l'aria di rigenerazione. Quest'ultima, dopo essere stata filtrata viene

riscaldata, attraverso delle batterie calde, dapprima con l'acqua calda prodotta dal MCHP, poi, eventualmente, con quella prodotta dalla caldaia; in seguito fluisce attraverso la parte superiore della ruota, rigenerandola, per poi essere scaricata all'esterno. In Figura 5 si riportano sul diagramma psicrometrico i processi cui sono sottoposti i tre flussi d'aria che attraversano l'unità di trattamento aria.

Gli stati indicati ed i colori utilizzati per rappresentare i tre flussi d'aria fanno riferimento ai simboli della Figura 2. L'impianto sperimentale è equipaggiato con sensori, trasduttori ed ambienti di analisi e sviluppo che permettono di acquisire localmente le principali proprietà termodinamiche e termoigrometriche dei fluidi in gioco (aria, acqua calda e refrigerata), nonché i flussi bidirezionali di energia elettrica ed i consumi di gas naturale. Tramite un sistema di acquisizione dati ed un software sviluppato in ambiente "LabView", sono acquisiti ed elaborati i principali parametri necessari all'analisi energetica, economica e di impatto ambientale del sistema in prova.

E' possibile quindi effettuati bilanci di energia relativi ai sistemi complessivi ed ai principali componenti.

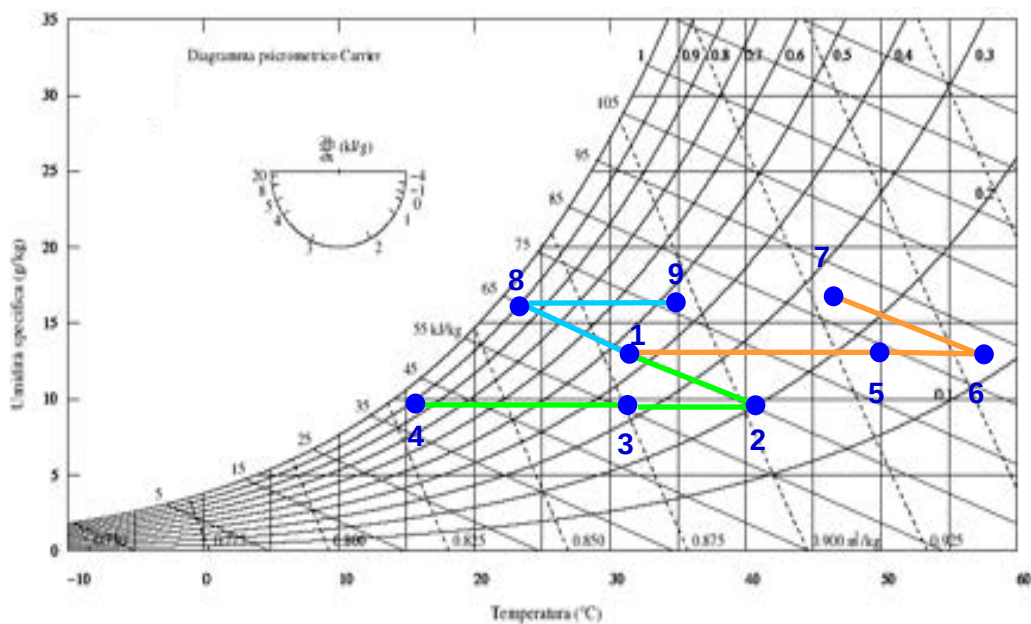


Figura 5. Diagramma psicrometrico con le trasformazioni subite dall'aria

L'impianto sinteticamente descritto ha permesso di effettuare un'intensa analisi sperimentale finalizzata sia alla valutazione dell'efficienza di deumidificazione della DW, che alla valutazione delle prestazioni energetiche, economiche e di impatto ambientale del complesso sistema di poligenerazione MCHP/HVAC-DW in svariate condizioni operative.

Nel seguito verrà descritto in dettaglio l'ambiente di monitoraggio e controllo implementato e gli "upgrade" introdotti per attivare funzionalità di telecontrollo e di telegestione.

3. IMPIANTO DI POLIGENERAZIONE PRESSO IL LABORATORIO PER IL CONTROLLO DELL'AMBIENTE COSTRUITO DELLA SECONDA UNIVERSITÀ DI NAPOLI

3.1. PREMESSA

La trigenerazione in ambito industriale e del terziario (alberghi, ospedali, ...) è pratica consolidata e fa riferimento tradizionalmente ad impianti di cogenerazione che attivano termicamente pompe di calore ad assorbimento. Per le potenze del piccolo commerciale e residenziale questa configurazione classica (MCHP/ABHP) risulta ostacolata dalla scarsa disponibilità commerciale di assorbitori, caratterizzati da un elevato costo e da una ridotta affidabilità, e dalla disponibilità di reflui termici a bassa temperatura caratteristici dei MCHP con motore a combustione interna, che influenzano negativamente il COP della macchina frigorifera e l'efficienza globale del sistema.

Può far riferimento a tecnologie ampiamente disponibili e di relativo basso costo il sistema di poligenerazione che accoppia un cogeneratore con una pompa di calore elettrica (MCHP/EHP). Un ulteriore vantaggio di tale configurazione è la flessibilità derivante dalla possibilità di alimentare la pompa di calore direttamente dalla rete elettrica di distribuzione esterna.

Evidentemente, un tale dispositivo risulta energeticamente inficiato dalla duplice conversione che avviene nel generatore elettrico del MCHP e nel motore elettrico della EHP.

3.2. DESCRIZIONE

Presso il "Laboratorio per il controllo dell'ambiente costruito" della Seconda Università degli Studi di Napoli, Figura 6, situato nel comune di Frignano (CE) è installato un impianto di microtrigenerazione (potenza elettrica inferiore a 15 kW) costituito dai seguenti componenti principali:

- Microcogeneratore, Figura 7;
- serbatoio di accumulo dell'energia termica ad alimentazione termoelettrica da 1000 litri, Figura 8;
- pompa di calore ad assorbimento, Figura 9;
- caldaia di integrazione;
- refrigeratore d'acqua a compressione di vapore alimentata elettricamente e condensato ad aria, Figura 10.



Figura 6. "Laboratorio per il controllo dell'ambiente costruito" della SUN

Nella Figura 1 è riportato lo schema dell'apparato sperimentale. Il microcogeneratore installato è prodotto da un'azienda giapponese (Figura 7) basato su un motore a combustione interna a 3 cilindri e 4 tempi, con una cilindrata di 952 cm^3 , alimentato a gas naturale e in grado di erogare una potenza elettrica fino a 6 kW e una potenza termica pari a 11.7 kW. L'energia termica recuperata dai gas combusti e dal circuito di raffreddamento del motore primo del microcogeneratore viene trasferita ad un accumulo termico (Figura 8) dalla capacità nominale di 1000 litri, coibentato con uno strato di 50 mm di poliuretano, attraverso uno scambiatore di calore in rame interno al serbatoio. Il serbatoio funge da volano termico e, quindi, consente di soddisfare le richieste di energia termica quando queste risultano differite rispetto alla produzione.



Figura 7. Microcogeneratore



Figura 8. Serbatoio di accumulo

Durante il periodo invernale l'energia termica recuperata dal microcogeneratore viene utilizzata per soddisfare i fabbisogni di acqua calda sanitaria di una parte del laboratorio e per il riscaldamento ambientale e l'acqua calda prodotta viene fatta circolare in 3 ventilconvettori mediante una pompa di circolazione in grado di operare con 3 velocità di rotazione; il carico termico può essere soddisfatto variando il numero di ventilconvettori attivati e/o la velocità di rotazione dei ventilatori centrifughi di cui è dotato ciascun ventilconvettore. Nel periodo estivo l'energia termica viene utilizzata per soddisfare i fabbisogni di acqua calda sanitaria e per alimentare la macchina ad assorbimento al fine di soddisfare i fabbisogni di energia frigorifera per il raffrescamento ambientale di una parte dell'edificio. La macchina ad assorbimento è il modello CW10 della società svedese ClimateWell AB, Figura 9, ad acqua-cloruro di litio caratterizzata da una potenza frigorifera nominale di 10 kW; il suo funzionamento è basato su una tecnologia proprietaria dell'azienda produttrice che consiste in un processo d'assorbimento che evolve seguendo un ciclo a tre stati d'aggregazione (solido, liquido e aeriforme), garantendo un funzionamento in continuo.



Figura 9. Macchina ad assorbimento



Figura 10. Chiller elettrico

Al fine di un efficiente funzionamento della macchina ad assorbimento è necessario garantire livelli termici dell'acqua in ingresso non inferiori ad 80°C: per raggiungere tale livello minimo di temperatura è stata allocata nel serbatoio una resistenza elettrica da 4 kW, poichè con l'energia termica recuperata dal microcogeneratore è possibile raggiungere una temperatura massima non superiore a circa 70°C. Inoltre, poiché la temperatura massima dell'acqua nel serbatoio non può superare 80°C, è stata installata una caldaia di integrazione a gas naturale a valle del serbatoio e sul circuito di mandata alla macchina ad assorbimento.

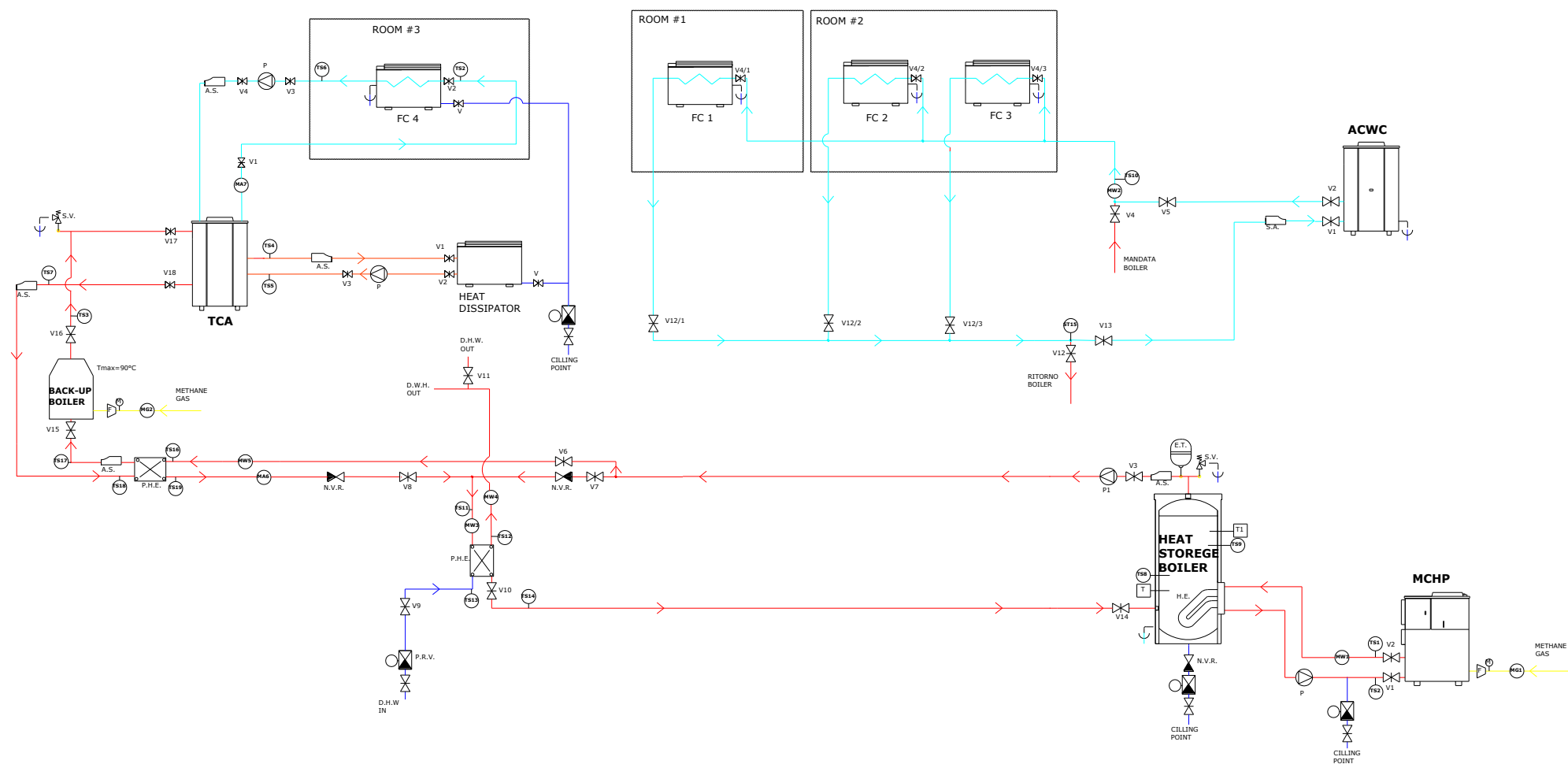


Figura 11. Schema dell'impianto

La caldaia utilizzata è prodotta dalla Ferroli (modello DOMItech C32), in grado di erogare una potenza termica massima di 32 kW. L'acqua refrigerata prodotta dalla macchina ad assorbimento viene inviata ai ventilconvettori per soddisfare la richiesta di energia frigorifera per esigenze di raffrescamento ambientale di una parte dell'edificio. Nel periodo estivo, il microcogeneratore, oltre a poter essere accoppiato alla macchina ad assorbimento, può, in alternativa, essere accoppiato ad una pompa di calore a compressione di vapore alimentata elettricamente (Figura 10) per la produzione di acqua refrigerata ed in grado di fornire una potenza frigorifera pari a 7.5 kW ($COP=2.88$). Nel periodo estivo, quindi, l'impianto di poligenerazione può funzionare in due configurazioni, MCHP/EHP e MCHP/ABHP, anche contemporaneamente secondo quanto riportato anche in Figura 10. Sia durante il periodo estivo che durante il periodo invernale, il MCHP può essere pilotato elettricamente, ossia può regolarsi in modo tale che eroghi, durante il suo funzionamento, una potenza elettrica uguale a quella richiesta dall'utenza, oppure, in alternativa, può funzionare anche inseguendo il carico termico. L'energia elettrica prodotta dal microcogeneratore può essere destinata all'alimentazione:

- 1) di carichi elettrici reali (illuminazione, stampanti, personal computer, plotter, ecc.) di due uffici del laboratorio (estate/inverno);
- 2) di carichi elettrici simulati attraverso 8 lampade alogene di diversa potenza (estate e inverno);
- 3) della resistenza elettrica allocata nel serbatoio di accumulo (estate e inverno);
- 4) del motore elettrico che aziona il compressore della macchina frigorifera (estate).

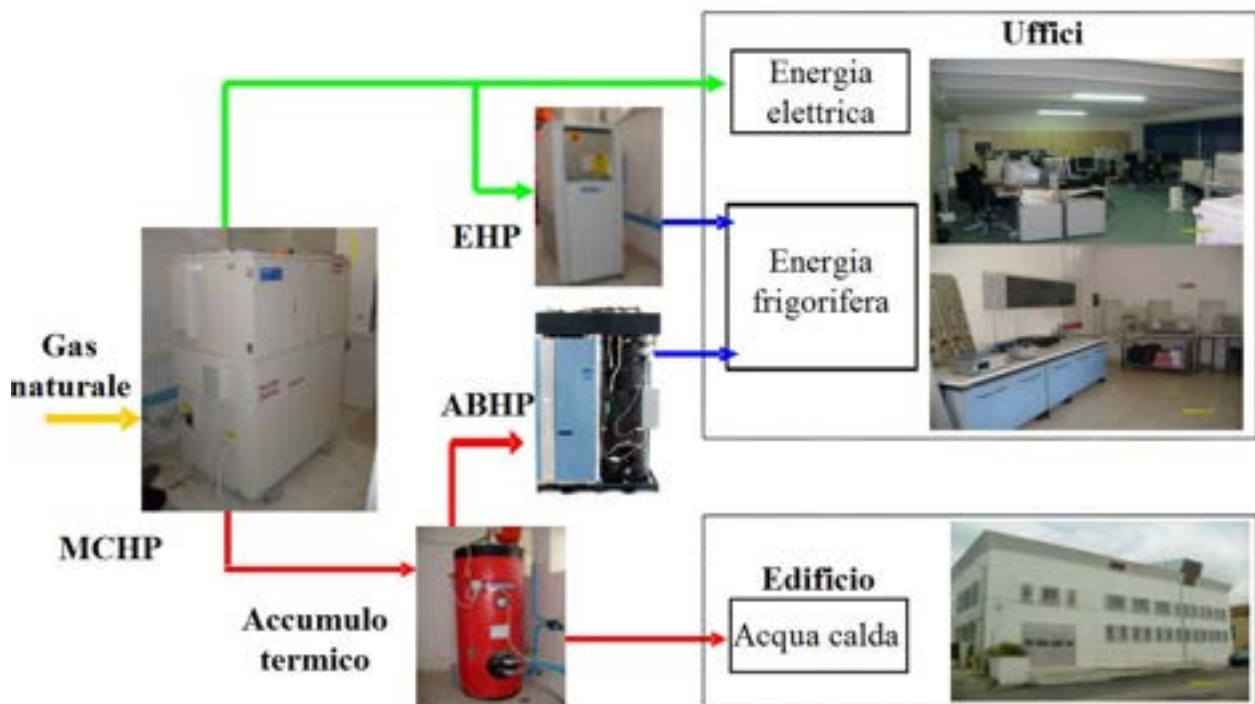


Figura 10. Impianto di poligenerazione in funzionamento estivo

Nella seconda configurazione il carico elettrico può essere variato in maniera discreta in tutto l'intervallo di possibile funzionamento del MCHP impostando il tempo di accensione e spegnimento sui timer di cui ciascuna delle 8 lampade alogene (di diversa potenza) disponibili in laboratorio. Inoltre, il MCHP opera in parallelo con la rete elettrica esterna di distribuzione.

L'apparato sperimentale è strumentato in maniera tale da consentire la misurazione diretta delle seguenti grandezze:

- portata volumetrica di gas naturale in ingresso al MCHP e alla caldaia di integrazione;
- portata volumetrica dell'acqua che attraversa i diversi rami del circuito;
- temperatura dell'acqua in tutti i diversi rami del circuito;
- temperatura dell'acqua nel serbatoio di accumulo (in due diverse posizioni);
- temperatura ambiente;
- potenza elettrica erogata dal MCHP;
- potenza elettrica fornita dalla rete elettrica esterna di distribuzione.

Nella Tabella 2 sono specificate la tipologia, l'intervallo operativo e l'accuratezza degli strumenti di misura utilizzati per la misurazione diretta delle grandezze caratteristiche sopra specificate.

A partire dai valori delle grandezze misurate direttamente, vengono calcolate le potenze:

- potenza primaria in ingresso al MCHP;
- potenza termica erogata dal MCHP;

- potenza primaria in ingresso alla caldaia di integrazione;
- potenza termica erogata dalla caldaia di integrazione;
- potenza frigorifera fornita dalla macchina ad assorbimento e/o dal chiller elettrico;
- potenza termica dissipata dalla macchina ad assorbimento;
- potenza termica/frigorifera fornita dai ventilconvettori.

Tabella 2. Caratteristiche dei sensori di misura utilizzati durante il funzionamento invernale

Variabile	Strumento	Range Operativo	Accuratezza
Portata volumetrica gas naturale	Misuratore di portata volumetrica termico	0÷5.0 Nm ³ /h	±0.8% valore letto ±0.2% fondo scala
Portata volumetrica acqua	Misuratore di portata volumetrica ad ultrasuoni	0÷50 l/min	±2.5% fondo scala
Temperatura	Termoresistenza Pt100	-50÷80 °C	±0.2 °C
Potenza elettrica erogata da MCHP	Wattmetro	0÷6 kW	0.2% fondo scala
Potenza elettrica fornita dalla rete	Wattmetro	0÷10 kW	0.2% fondo scala

Tutti gli strumenti di misura utilizzati sono collegati a dei moduli di acquisizione della "National Instruments" collegati ad un personal computer, tramite il quale è possibile monitorare e acquisire in tempo reale le grandezze misurate attraverso un software commerciale, "LabView".

Nel seguito verrà descritto in dettaglio l'ambiente di monitoraggio e controllo implementato e gli "upgrade" introdotti per attivare funzionalità di telecontrollo.

4. SISTEMA DI MONITORAGGIO, CONTROLLO E GESTIONE REMOTA "POLILAB"

4.1. PREMESSA

In questo capitolo verrà descritto il sistema di monitoraggio e controllo in remoto implementato per integrare le apparecchiature e gli ambienti di sviluppo locali al fine della realizzazione del laboratorio virtuale macrogeografico, denominato "PoliLab". Si rimanda alla relazione "Risultati dell'attività sperimentale per sistemi di poligenerazione distribuiti - Deliverable B" per un'analisi dettagliata dei risultati sperimentali ottenuti. Evidentemente i laboratori

precedentemente sinteticamente descritti, essendo stati progettati per finalità di ricerca scientifica risultano equipaggiati con sistemi di acquisizione, elaborazione dei dati sperimentali sviluppati in consolidati ambienti di sviluppo che agevolmente permettono di implementare piattaforme di controllo e gestione remota con specifiche subroutine che permettono la condivisione dei risultati sperimentali e laboratori localmente con utenti collegati in rete.

Data l'estrema varietà di apparecchiature e di apparati che in un futuro prossimo potrebbero necessitare di collegamento, monitoraggio, controllo e gestione remota, nella presente sperimentazione si è voluto far riferimento ad un software di collegamento di grande diffusione e per talune applicazioni gratuito: il "*TeamViewer*".

Va infatti sottolineato che il telecontrollo e la telegestione di sistemi di conversione energetica con unità di elaborazione dati centralizzate è pratica diffusissima sia in ambito industriale che del terziario. Essa è finalizzata al controllo ottimale del funzionamento delle apparecchiature, alla diagnostica di malfunzionamenti e all'accelerazione degli interventi di manutenzione. I produttori ed i distributori di tali sistemi e/o servizi hanno sviluppato negli anni software molto elaborati che però potrebbero incidere sul costo iniziale dell'apparecchiatura che rappresenta senza dubbio il maggiore ostacolo alla diffusione di sistemi complessi ad elevata efficienza di conversione energetica in applicazioni residenziali e di piccola taglia.

La scelta del software è stata inoltre giustificata dai seguenti fattori:

- ampia diffusione ed affidabilità;
- semplicità di utilizzo, adatta ad applicazioni "*user-friendly*";
- utilizzo libero per applicazioni scientifiche, quale quella in esame, e/o didattiche;
- accesso a tutti i software di acquisizione che l'impianto prevede per le varie apparecchiature installate.

Quest'ultima opzione risulta particolarmente interessante in applicazioni di piccola scala dove non necessariamente i sistemi di acquisizione dei diversi dispositivi "colloquiano" fra loro soprattutto in questa fase iniziale di diffusione di tali dispositivi in ambienti domestici. In futuro, in fase avanzata di sviluppo di applicazioni domotiche, saranno accreditati standard di misura e trasmissione dati che uniformeranno i software di trattamento ed elaborazione delle informazioni e conseguentemente la loro trasmissione remota.

4.2. SOFTWARE "TEAMVIEWER"

Il sistema di monitoraggio e controllo "*web-based*" in remoto è stato implementato mediante il software "*TeamViewer*", Figura 11, che consente di instaurare un collegamento ad un computer qualsiasi tramite Internet e di controllarlo a distanza.



Figura 11. Software "*TeamViewer*", maschera computer remoto

Il software deve essere installato sia sui PC interfacciati al sistema di acquisizione ed elaborazione dati dei laboratori, che di seguito chiameremo "locali", che sui quelli dai quali si voglia accedere per il monitoraggio, il controllo e la gestione a distanza, che di seguito definiremo "remoti". Ovviamente, tutte le macchine di elaborazione coinvolte devono essere collegate alla rete Internet. In fase di avviamento il software "*Teamviewer*" assegna automaticamente al PC remoto un codice *ID* identificativo ed una *password* dinamica (maschera "Consenti controllo remoto" del tab "Controllo remoto", Figura 13, che di default cambia ad ogni avvio del software). Ai PC dei laboratori viene invece attribuita un *ID* e una *password* statica.

Per avviare il controllo da remoto, è sufficiente inserire, nella casella *"ID partner"* della sezione *"Controlla computer remoto"* del tab *"Controllo remoto"* (Figura 13), il codice ID del PC locale al quale si vuole accedere e cliccare sul pulsante *"Collegamento con l'interlocutore"*. Stabilita la connessione, si apre la maschera di autenticazione, in cui è necessario inserire la password associata al PC locale che si vuole controllare in remoto, Figura 12.

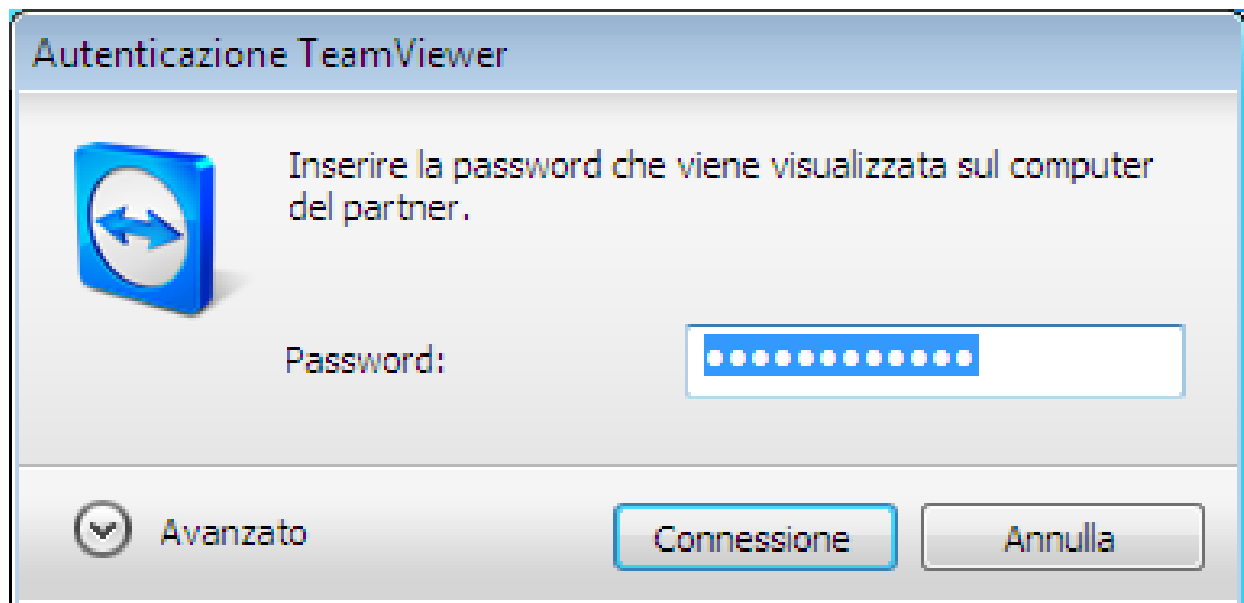


Figura 12. Maschera di autenticazione

Effettuata l'autenticazione, compare una maschera in cui vengono riportati i dettagli di accesso, ovvero le operazioni che è consentito eseguire in remoto, Figura 13.

Nel seguito verranno riportate le potenzialità del software *"PoliLab"* di monitoraggio e controllo remoto dei due laboratori di micropoligenerazione ubicati in Campania, rimandando alla relazione *"Risultati dell'attività sperimentale per sistemi di poligenerazione distribuita - Deliverable B"*, per una descrizione esaustiva dei risultati ottenibili. La trattazione seguente è prioritariamente indirizzata a fornire agli operatori di *"PoliLab"* un manuale d'uso esplicitando tra l'altro anche software specifici forniti dai costruttori delle macchine e/o dei componenti.

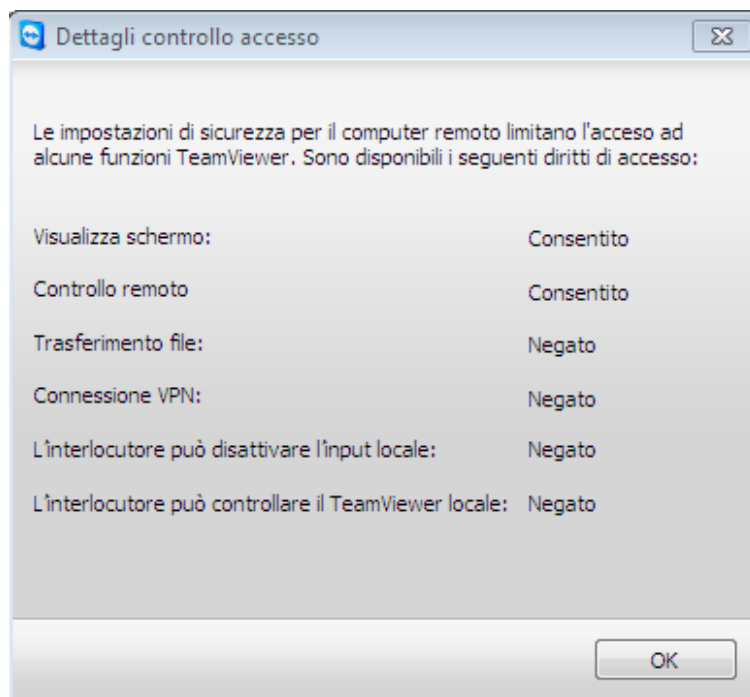


Figura 13. Maschera dei diritti di accesso

4.3. SOFTWARE DI MONITORAGGIO, CONTROLLO E GESTIONE REMOTA DELL'IMPIANTO DI POLIGENERAZIONE UNISANNIO

In Figura 14 viene riportato il desktop del PC locale presente presso l'Università del Sannio. E' possibile eseguire i software che consentono l'acquisizione dei segnali per la misura delle principali proprietà termofluidodinamiche dei fluidi evolventi nonché l'acquisizione delle variabili operative delle macchine presenti all'interno del laboratorio.

In particolare, sono possibili quattro opzioni:

- l'acquisizione, il monitoraggio e la gestione da remoto del solo cogeneratore per mezzo del software "*GecMon*", fornito dal produttore *Aisin*;
- l'acquisizione dei dati sull'assorbimento elettrico di vari componenti dell'impianto per mezzo del software dedicato "*EcsWin*", fornito dalla *Gossen Metrawatt* produttore dei sensori elettronici;
- l'acquisizione, il controllo e la gestione delle grandezze e variabili operative del sistema di micropoligenerazione MCHP/HVAC-DW attraverso il software specifico "*PoliLab_Unisannio*" sviluppato in ambiente "*LabView*";
- l'accesso ai file, suddivisi per data, dei dati sperimentali acquisiti attraverso i tre software precedentemente riportati e relativi all'ultima campagna di test, accedendo alla cartella "*Risultati sperimentali*".



Figura 14. Desktop PC locale dell'Università del Sannio

Occorre precisare che, evidentemente, il software di acquisizione, controllo e gestione dell'intero sistema di micropoligenerazione (*PoliLab_Unisannio*) è in grado di analizzare il componente nella sua globalità così come i suoi principali componenti, in particolare il microcogeneratore. Ciononostante si è deciso di rendere disponibili nella gestione remota anche il software del MCHP fornito dal costruttore (*GecMon*) per le seguenti ragioni:

- indirizzare operatori all'analisi specifica di uno dei sistemi energetici di prevalente interesse che nella sua singolarità può già essere oggetto di studi specifici e/o ottimizzazione di gestione;
- accedere a un gran numero di parametri di funzionamento della macchina come le temperature del liquido di raffreddamento in ingresso e uscita dal motore, il numero di giri del motore, la temperatura del vano motore, ecc. prioritariamente finalizzati alla diagnostica remota del malfunzionamento del dispositivo;
- permettere all'operatore remoto in maniera semplice l'accensione e lo spegnimento del dispositivo.

Nel seguito viene fornita una descrizione dei software utilizzabili.

4.3.1 "GecMon": software di acquisizione dati dal MCHP

L'azienda Aisin produttrice del cogeneratore ha fornito un software, "*GecMon*", che consente sia l'acquisizione che la gestione dei principali parametri di funzionamento del MCHP. Il software, in primo luogo, consente di selezionare, tramite un'apposita maschera, Figura 15, il modello di microcogeneratore che si vuole analizzare (04 Model).

Dopo aver effettuato questa selezione si accede ad una seconda maschera, Figura 16, dalla quale è possibile effettuare una selezione fra quattro opzioni:

- "Monitor, Graph, Data Record": consente di acquisire in tempo reale, riportare in forma grafica e quindi salvare i dati di funzionamento del MCHP;
- "Read the Recorded Data": consente di visualizzare dati precedentemente salvati;
- "File Convert to CSV": consente di convertire i file generati dal software in formato .csv, facilmente importabile in "*Excel*";
- "Exit": uscire dal software "*GecMon*".

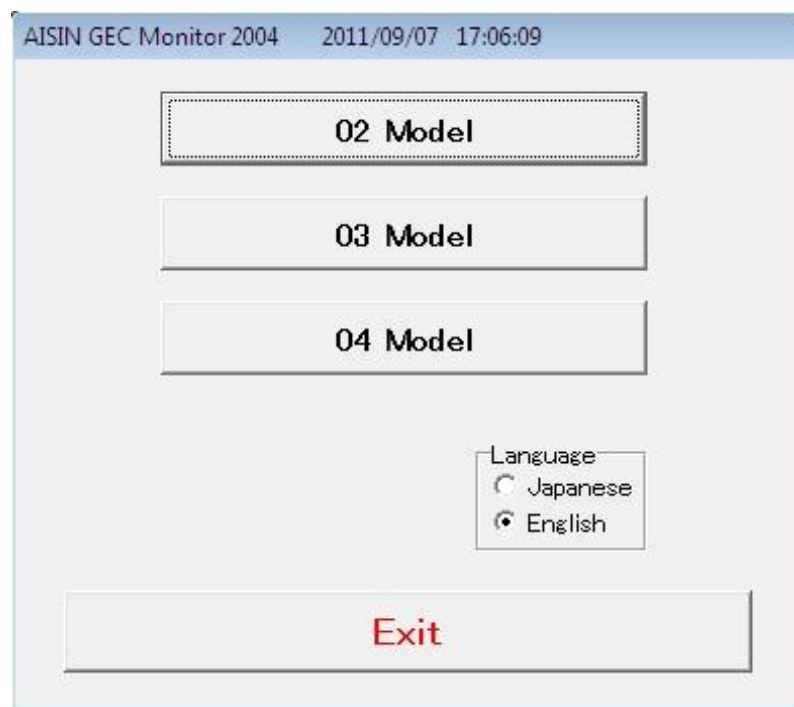


Figura 15. Maschera di selezione del modello di MCHP del software "*GecMon*"

Selezionando l'opzione "Monitor, Graph, Data Record" si accede alla maschera "Set recording", Figura 17, da cui è possibile impostare alcuni parametri, in particolare la frequenza di acquisizione ("Change the Meas interv"), selezionabile dall'utente in un intervallo molto ampio (1 s, 2 s, 5 s, 10 s, 1 min, 2 min, 5 min, 10 min, ecc...), nonché la frequenza con la quale i dati acquisiti possono essere salvati : 600, 1800 o 3600 ("Times to save").

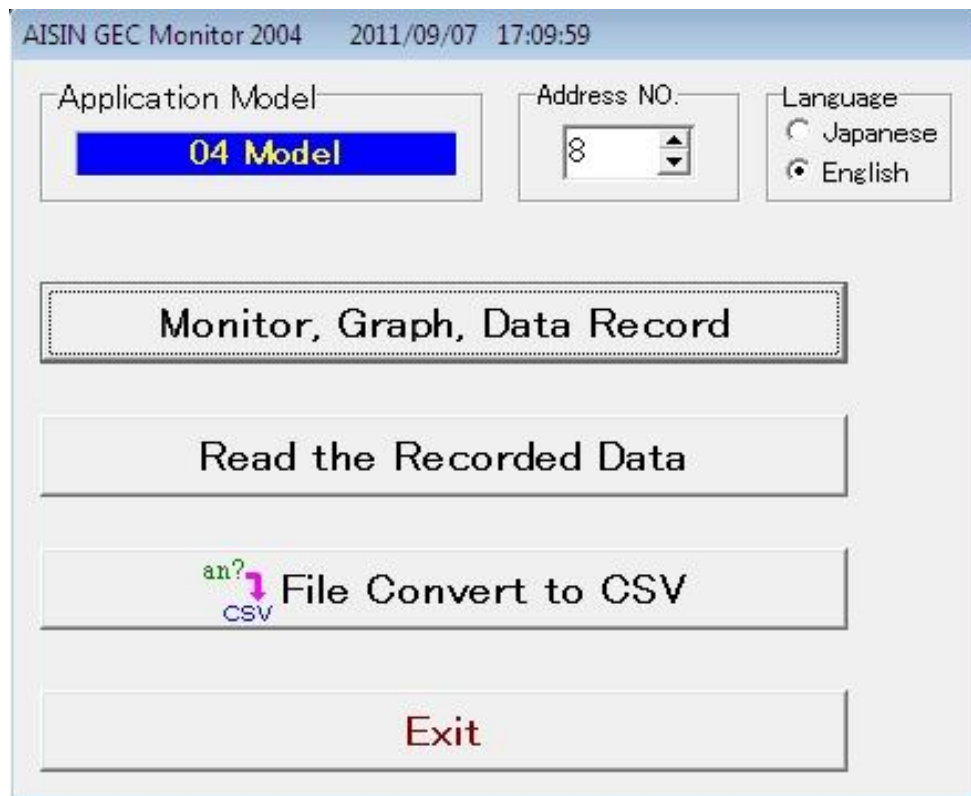


Figura 16. Maschera principale del software "GecMon"

Selezionando "OK (Communication start)" si accede alla maschera principale "Operation Data Table", Figura 18, che consente in primo luogo di visualizzare il valore in tempo reale dei principali parametri di funzionamento della macchina, come ad esempio temperatura di ingresso (ENGINE C IN) e uscita (ENGINE C OUT) del liquido di raffreddamento del motore, temperatura di mandata (HOT WATER OUT) del fluido termovettore secondario (acqua), potenza elettrica e termica erogata (W OUT e HEAT POWER, rispettivamente), assorbimento elettrico connesso agli autoconsumi.

Inoltre, dalla stessa è possibile desumere ulteriori informazioni sul funzionamento del MCHP, quali lo stato di accensione o spegnimento (ON – OFF) di tutti gli ausiliari presenti (GAS VALVE, WATER PUMP...) ed eventuale presenza di segnali di errore connessi a malfunzionamenti.

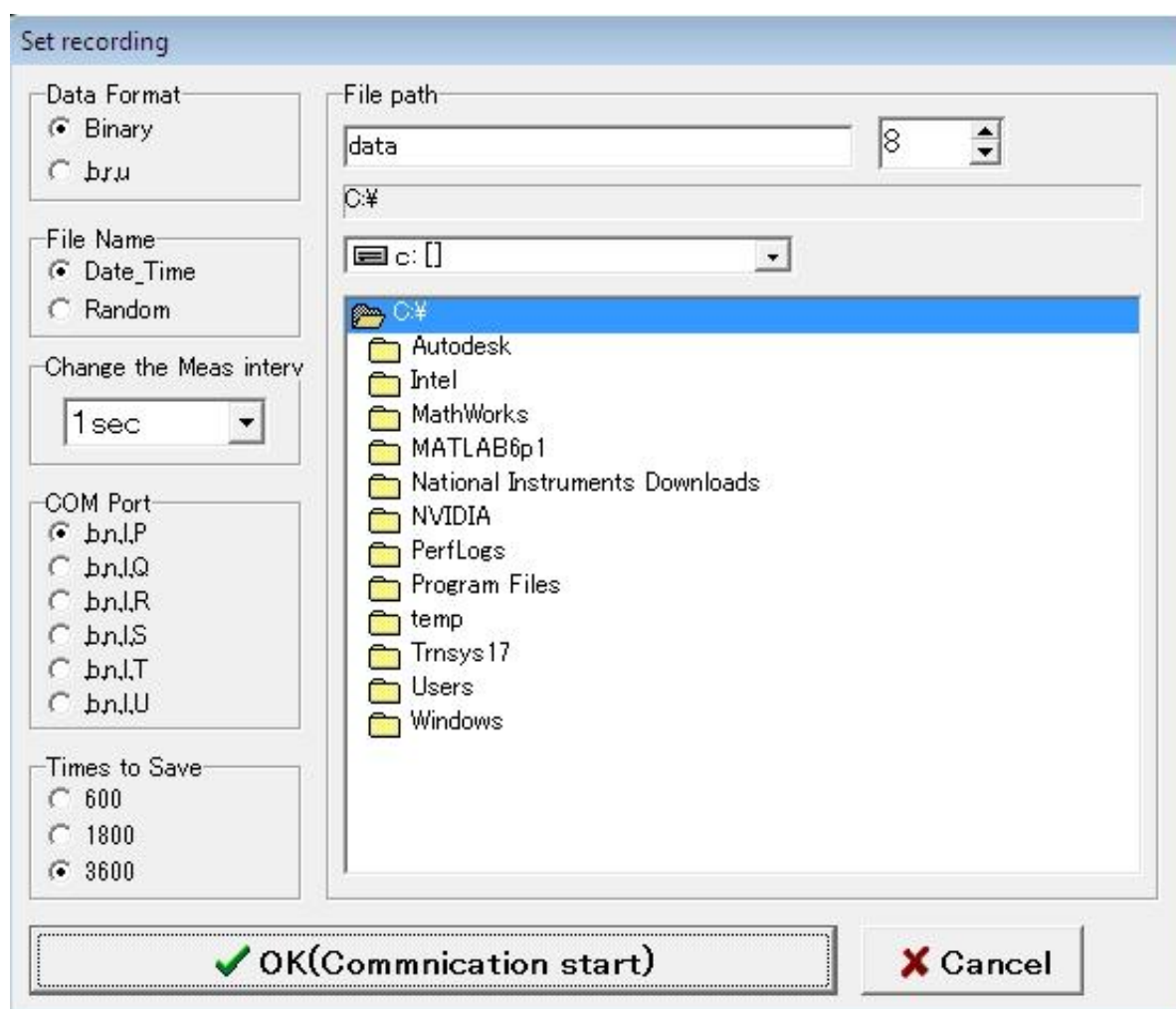


Figura 17. Maschera di salvataggio dati


Operation Data Table





File Window Error Manual Help

Monitoring

—

ENGINE C OUT	66.1	I	GAS VALVE 1	ON	INTERCONNECTING	ON
IV TEMP	30.1	I	GAS VALVE 2	ON	EG OPERATING	ON
HOT WATER OUT	31.0	I	STARTER	OFF	TRIAL OPERATION	OFF
EG ROOM	31.2	I	CNTRL BOX FAN	ON	OPERATION SIGNAL	ON
OUTSIDE	25.5	I	VENTI FAN	ON	HEAT CONTROL SIG	OFF
ENGINE C IN	58.4	I	WATER PUMP	ON	HEAT CONTROL STOP	OFF
HEATEX C OUT	28.4	I	RADIATOR FAN	OFF	LIGHT LOAD STOP	OFF
HEAT POWER	30.9MJ/H				STOP PREPARE	OFF
OIL PRESSURE SW	OFF				INTERCONNECT WAIT	OFF
EG RPM	1781min-1				PERIODIC CHECK	OFF
W OUT	3888W				WARN PERIODIC CHK	OFF
V OUT	204.9V				IRRGRLR STOP SIGNAL	OFF
I OUT	19.2A				EXT STOP SIGNAL	OFF
FREQUENCY	0.0Hz				FAILURE CODE MAIN	00
INV DC VOLTAGE	459.7V				FAILURE CODE SUB	00
RECEIVING 1	190W					
RECEIVING 2	210W					
STEP MOTOR	131stp					
NUM EG RUN	30					
NUM STARTER RUN	120					
NUM INTERCONNECT	20					
AFTER PC	24h					
WATT HRS	64.0kWh					
OPERATION HRS	24h					

2008/09/01 10:04:34

Figura 18. Maschera di riepilogo per il monitoraggio del cogeneratore

E' possibile visualizzare l'andamento nel tempo di tutte le grandezze misurate selezionando il comando "Graph" dal menu "Window" riportato sulla barra dei menu. È' comunque possibile disattivare la visualizzazione delle grandezze eventualmente ritenute non interessanti agendo sugli switch presenti sulla sinistra della maschera.

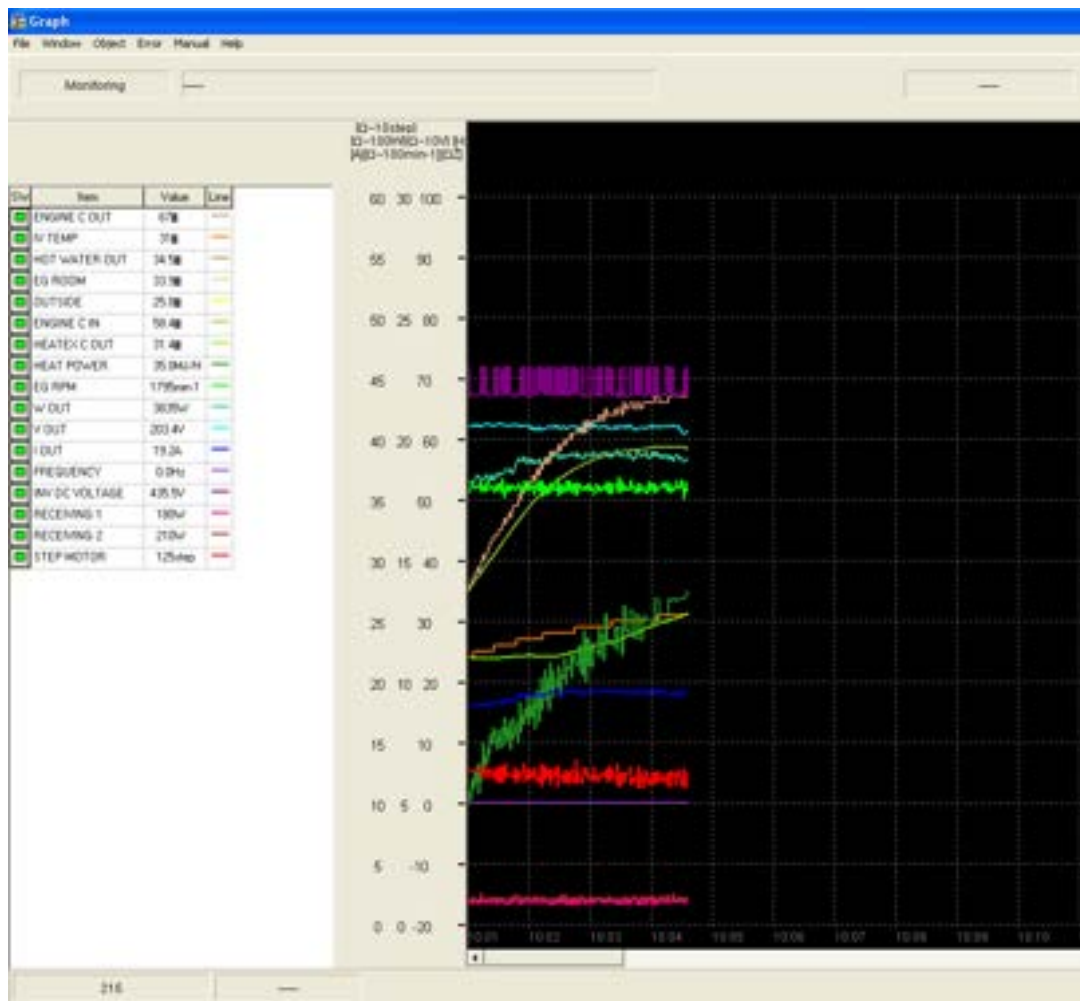


Figura 19. Maschera di visualizzazione dei parametri di funzionamento del cogeneratore

Analogamente, selezionando il comando “Actuator Graph” nel menu “Window” è possibile diagrammare lo stato degli organi ausiliari a bordo del MCHP e degli eventuali segnali di allarme e di errore, Figura 20.

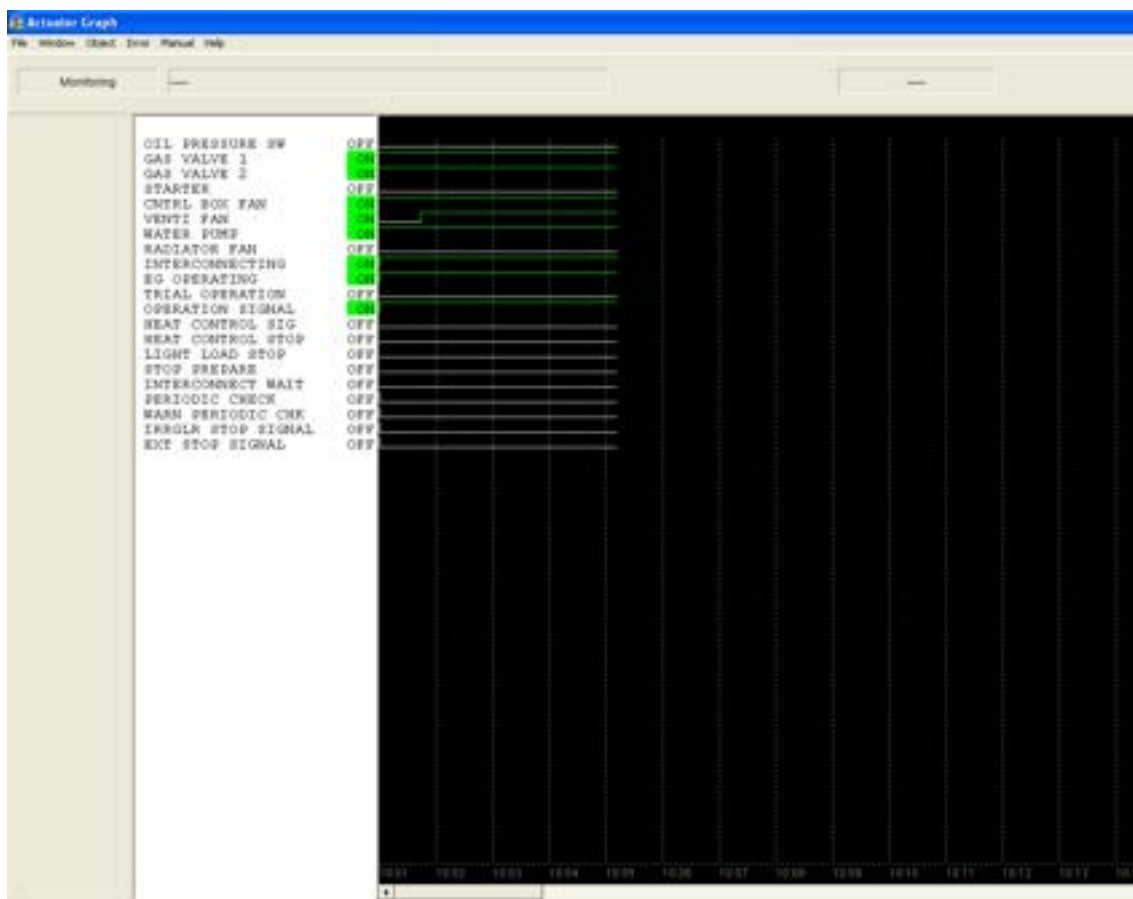


Figura 20. Maschera stato ausiliari

Di notevole interesse per l'applicazione in esame è la possibilità del controllo dell'accensione e spegnimento da remoto del microgeneratore selezionando il comando “Operation Control” nel menu “Manual”, Figura 21.



Figura 21. Maschera di gestione remota del MCHP

Il software, infine, consente all'utente di registrare, tramite la funzione “recording”, il valore delle grandezze che caratterizzano il funzionamento del microgeneratore selezionando il comando “Start Recording” nel menu “File”.

Così facendo, si accede nuovamente alla schermata “Set recording”, Figura 17, da cui è possibile impostare, oltre a quanto descritto precedentemente, la cartella in cui salvare i file generati dal software, quali ad esempio la cartella condivisa dagli operatori della rete Polilab.

Il software fornisce, ad intervalli di tempo regolari dipendenti dal periodo di acquisizione selezionato, un file, convertibile in formato “.csv” tramite l’apposita funzione, in cui sono riportati, suddivisi per colonna, tutti i parametri caratteristici del sistema, acquisiti con il periodo di campionamento selezionato dall’utente.

Tali dati possono essere poi successivamente elaborati per una più approfondita caratterizzazione dei risultati sperimentali, come, ad esempio, attraverso la valutazione del rendimento elettrico e termico del microcogeneratore.

4.3.2 Software "EcsWin": acquisizione dati su assorbimenti elettrici

L'utente remoto può accedere al software "*EcsWin*" fornito dall'azienda *Gossen Metrawatt*, fornitore dei contatori elettronici per la valutazione dell'energia elettrica assorbita dai vari dispositivi, dagli ausiliari, nonché quella erogata dal MCHP. Il software attraverso un apposito linguaggio di programmazione (ECL = Energy Control Language) può elaborare programmi finalizzati ad eseguire operazioni di calcolo, valutazione, monitoraggio e ottimizzazione personalizzate, Figura 24.

Inoltre si è ritenuto di offrire all'utente remoto anche la potenzialità che il software prevede quale la possibilità di intervenire sui profili di carico delle utenze monitorate per finalità di ottimizzazione energetica. Con riferimento all'applicazione in esame va chiarito che molte delle grandezze acquisite risultano disponibili anche attraverso l'interazione con il software "*PoliLab_Unisannio*" per cui non si ritiene necessario in questa sede descrivere in dettaglio le molteplici funzionalità di questo programma.

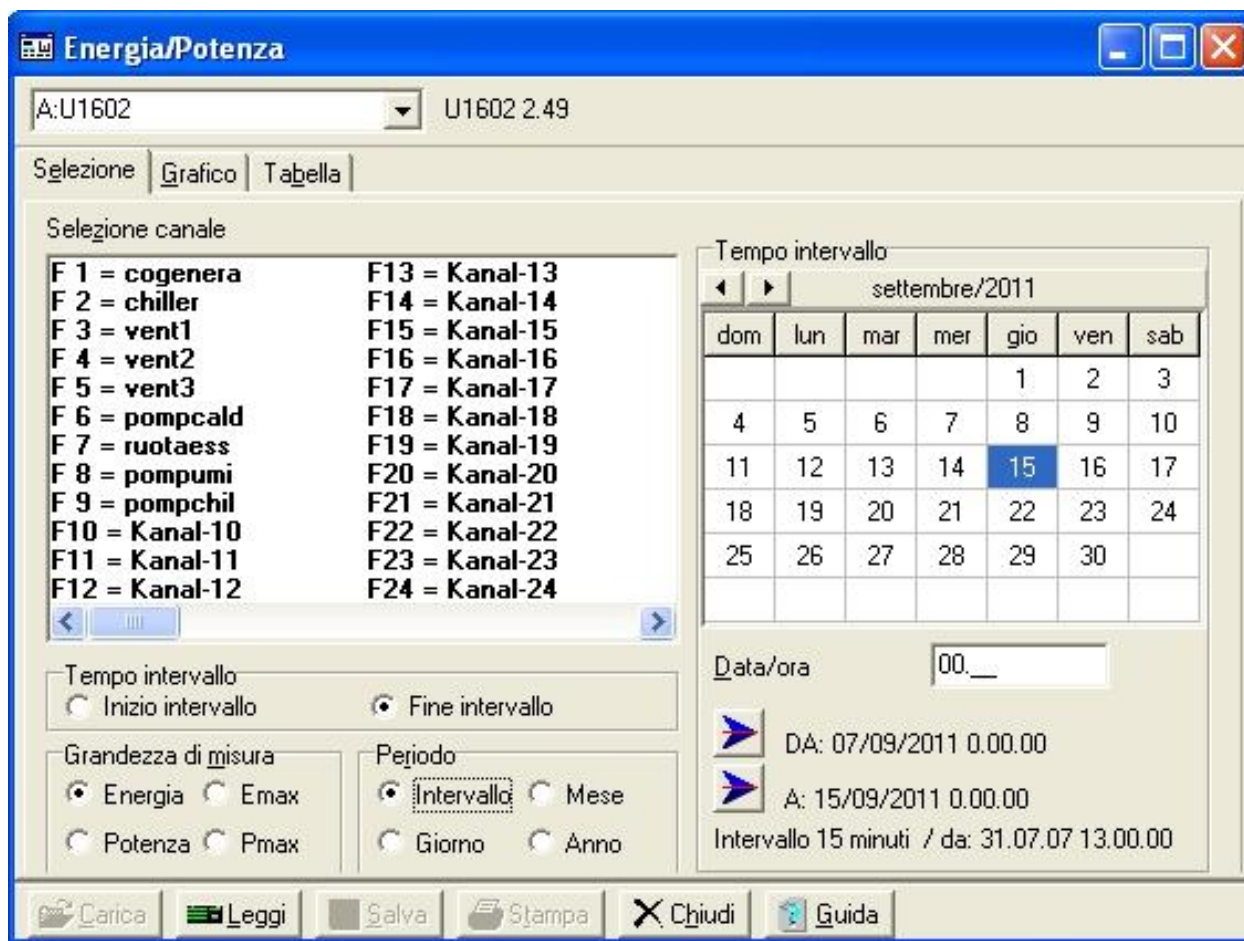


Figura 22. Maschera del software "EcsWin"

4.3.3 Software "PoliLab_Unisannio"

Per poter avviare l'analisi sperimentale remota del sistema di poligenerazione dell'Università del Sannio occorre eseguire il software "PoliLab_Unisannio", dal quale è possibile accedere ad una serie di maschere, che riportano in tempo reale dati utili a:

- visualizzare le principali proprietà termodinamiche e termoigrometriche dei fluidi in gioco (aria, acqua calda e refrigerata), nonché i consumi di gas naturale relativi all'intero volume di controllo;
- valutare le prestazioni energetiche di alcuni componenti del sistema: DW, batteria calda, batteria fredda MCHP, caldaia e chiller;
- valutare gli indici energetici, economici e di impatto ambientali utili al confronto fra l'MCHP e un sistema tradizionale i cui parametri possono essere definiti dall'utente (rendimenti, fattori di emissione CO₂, costi dei vettori energetici).

Dalla maschera principale, Figura 23, tramite la quale è possibile accedere alle subroutine di livello gerarchico inferiore, ciascuna relativa all'analisi di uno specifico volume di controllo del complesso sistema di poligenerazione. E' sempre possibile ritornare al menu gerarchicamente precedente attivando il comando "Torna indietro".



Figura 23. Menu principale del programma relativo al laboratorio Unisannio

Il primo pulsante di input (MCCHP=MCHP/HVAC-DW) attiva il collegamento alla maschera del sistema di poligenerazione complessivo, Figura 24. In essa è visualizzato il layout impiantistico dell'unità di trattamento aria dotata di ruota deumidificatrice, interagente con i tre dispositivi di conversione energetica presenti (MCHP, caldaia e chiller), nonché il valore attuale di tutte le grandezze termodinamiche monitorate (temperatura, umidità e velocità dell'aria, temperatura e portata dell'acqua, portata di gas naturale).

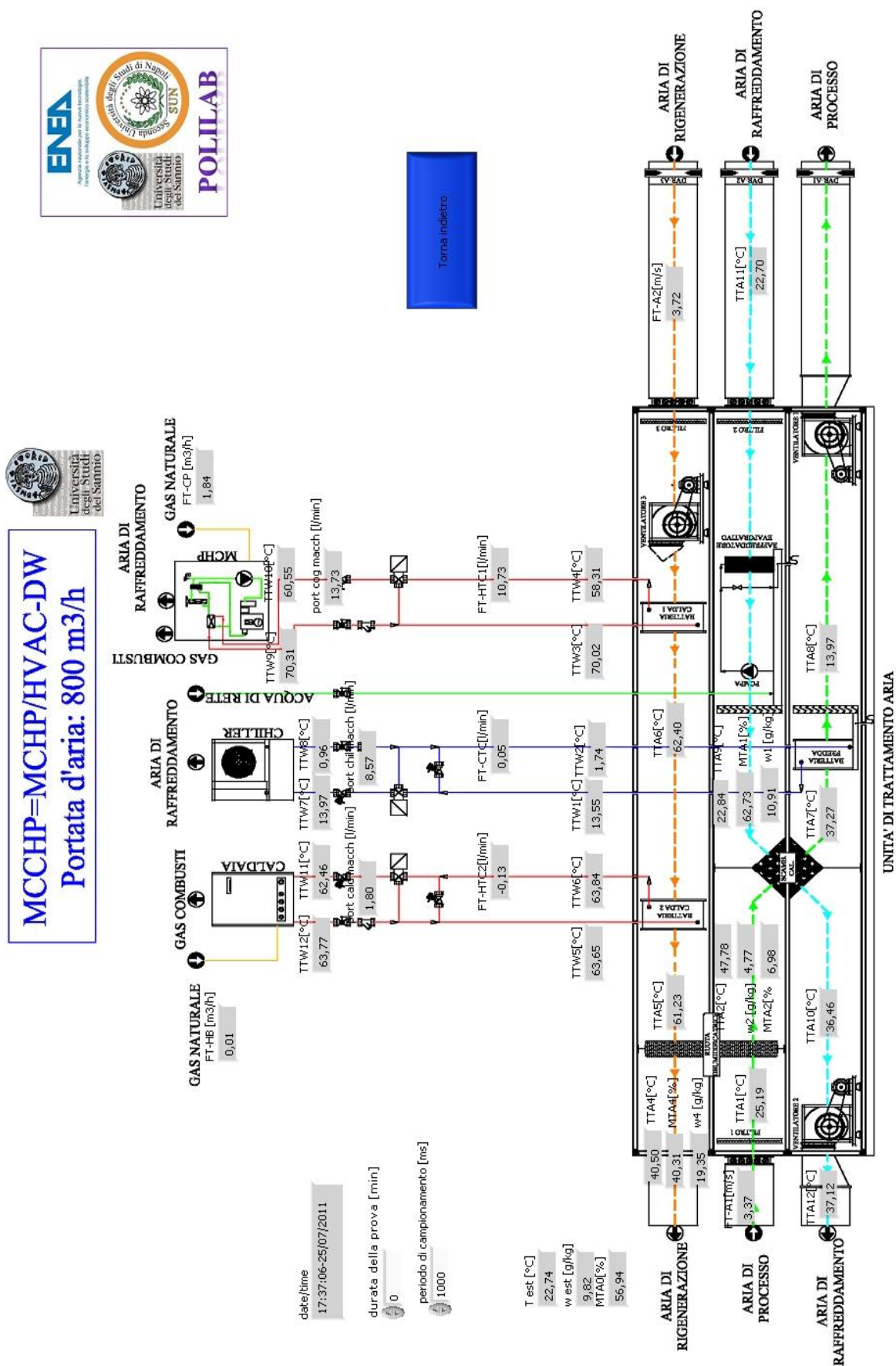


Figura 24. Maschera relativa al volume di controllo complessivo dell'impianto di poligenerazione Unisanno

E' inoltre possibile impostare la durata della prova in minuti (il valore di default "0" indica una prova che continua indefinitamente), nonché il periodo di acquisizione in millisecondi (il valore di default è pari a 1000 ms).

Dal menù principale (RUOTA DEUMIDIFICATRICE) è possibile accedere al link della subroutine di output relativa al volume di controllo che racchiude la sola ruota deumidificatrice Figura 25.

In essa è presente il sottoinsieme di dati acquisiti relativi alle sezioni a monte ed a valle della ruota (lato rigenerazione e processo).

Sono inoltre rappresentate le evoluzioni temporali sia dell'umidità specifica dell'aria di processo in ingresso ed in uscita dalla ruota, che di uno dei parametri prestazionali di maggior interesse che caratterizza tale componente, ovvero l'efficienza di deumidificazione.

Nella parte superiore di ciascun grafico, accanto alla legenda, è presente inoltre un indicatore numerico che visualizza in tempo reale il valore attuale della grandezza acquisita.

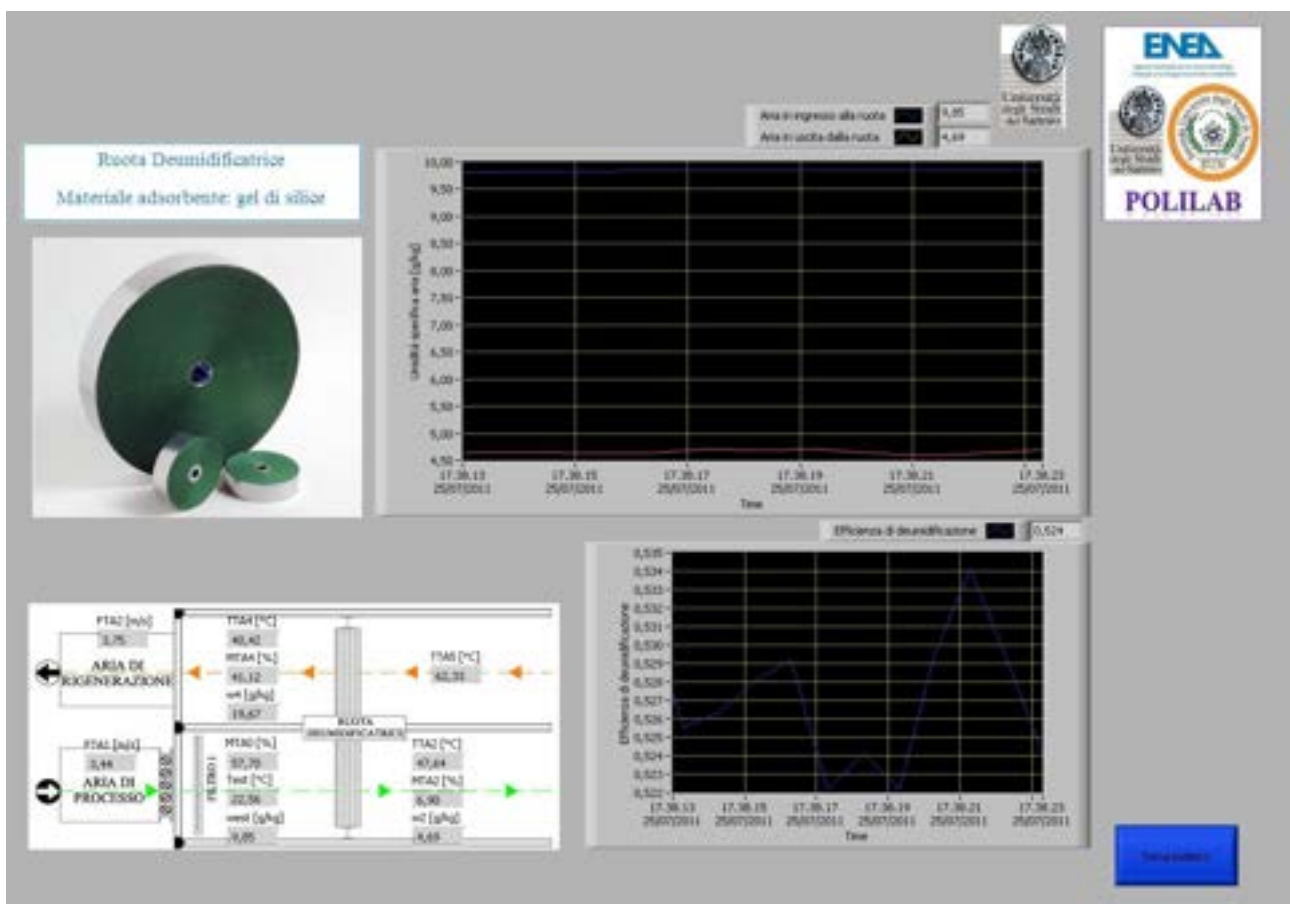


Figura 25. Maschera relativa al volume di controllo della ruota deumidificatrice

Dal menù principale (MCHP) è possibile quindi accedere ad un volume di controllo che racchiude il solo microcogeneratore, Figura 26.

In essa è presente uno schema del microcogeneratore stesso con i valori attuali di alcuni parametri di funzionamento.

Sono inoltre presenti due grafici: nel primo viene visualizzato l'andamento nel tempo della potenza elettrica netta e termica erogata dal microcogeneratore, nonché della potenza primaria in ingresso al dispositivo (con riferimento ad un potere calorifico inferiore del gas naturale pari a 9.59 kWh/Nm³); nel secondo viene visualizzato l'andamento nel tempo dei principali parametri di prestazione energetica del dispositivo in esame, ovvero rendimento elettrico e termico e Coefficiente di Utilizzo del Combustibile (CUC).

Anche in questo caso, nella parte superiore di ciascun grafico, accanto alla legenda, è presente un indicatore che visualizza il valore attuale della relativa grandezza misurata.

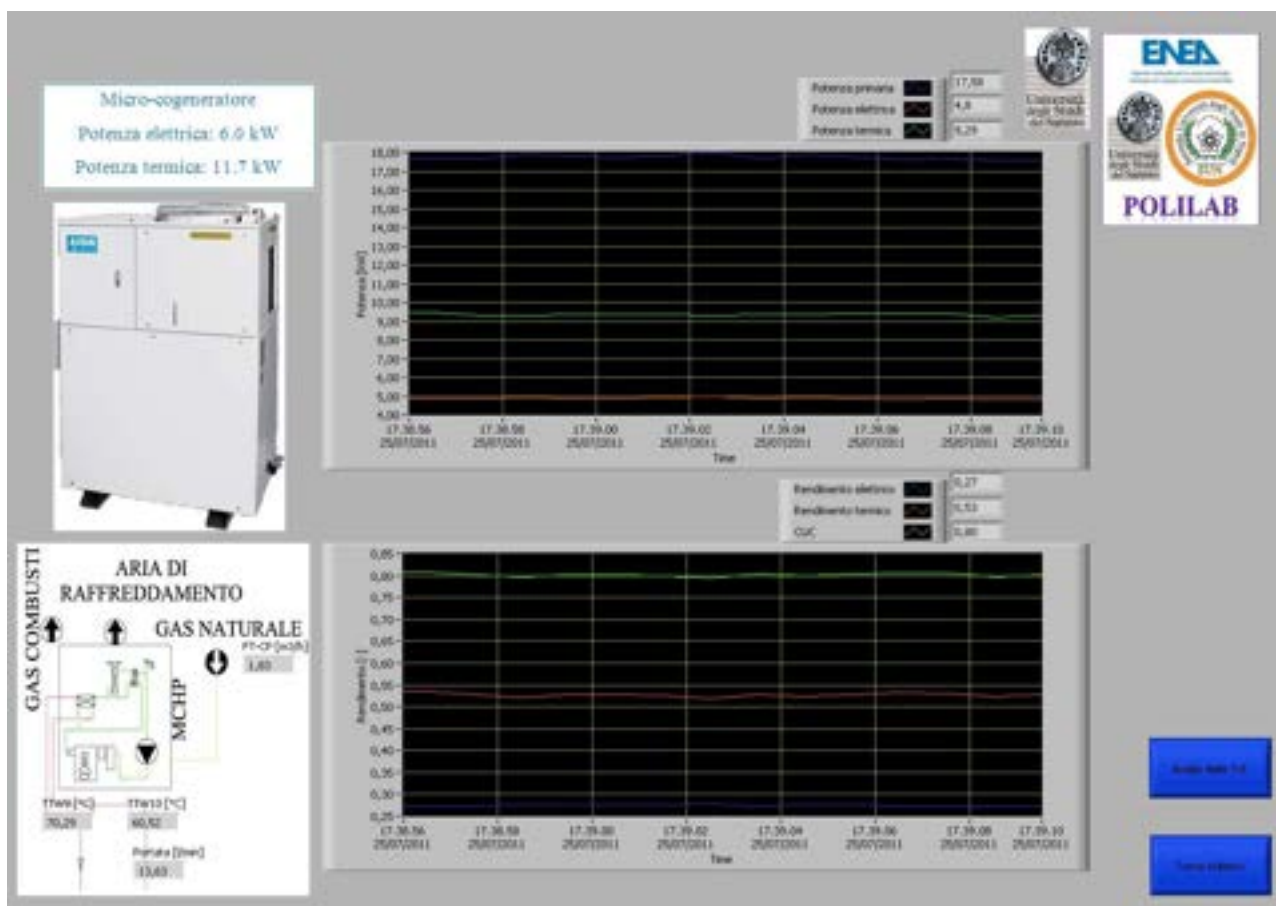


Figura 26. Maschera relativa al volume di controllo del MCHP

In questo menù è inoltre presente un ulteriore pulsante (Analisi delle 3-E) che consente di accedere ad un menù di input/output finalizzato al confronto in termini energetici, economici e di impatto ambientale tra il microcogeneratore (Sistema Proposto, SP) ed il sistema di “produzione” separata (Sistema Tradizionale, ST), Figura 27. In essa sono presenti, nella parte sinistra, una serie di cursori che permettono all’operatore remoto di impostare i principali parametri che caratterizzano il sistema di riferimento (rendimento della rete elettrica e della caldaia), i fattori di emissione unitari ed il costo dei vettori energetici coinvolti nell’analisi (gas naturale ed energia elettrica prelevata

dalla rete), con la possibilità di differenziare il costo del gas naturale utilizzato dal cogeneratore da quello utilizzato dalla caldaia, in modo da poter includere nell'analisi l'eventuale defiscalizzazione del combustibile ad uso cogenerativo.

Anche in questo caso il software elabora i dati acquisiti e fornisce gli andamenti temporali del Risparmio di Energia Primaria (REP) e delle emissioni di CO₂ equivalenti evitate (ΔCO_2). Inoltre è visualizzata la differenza in termini di costo di esercizio tra il SP ed il ST. Sono infine presenti, accanto alla legenda di ciascun grafico, i classici indicatori numerici che visualizzano il valore attuale della relativa grandezza acquisita.

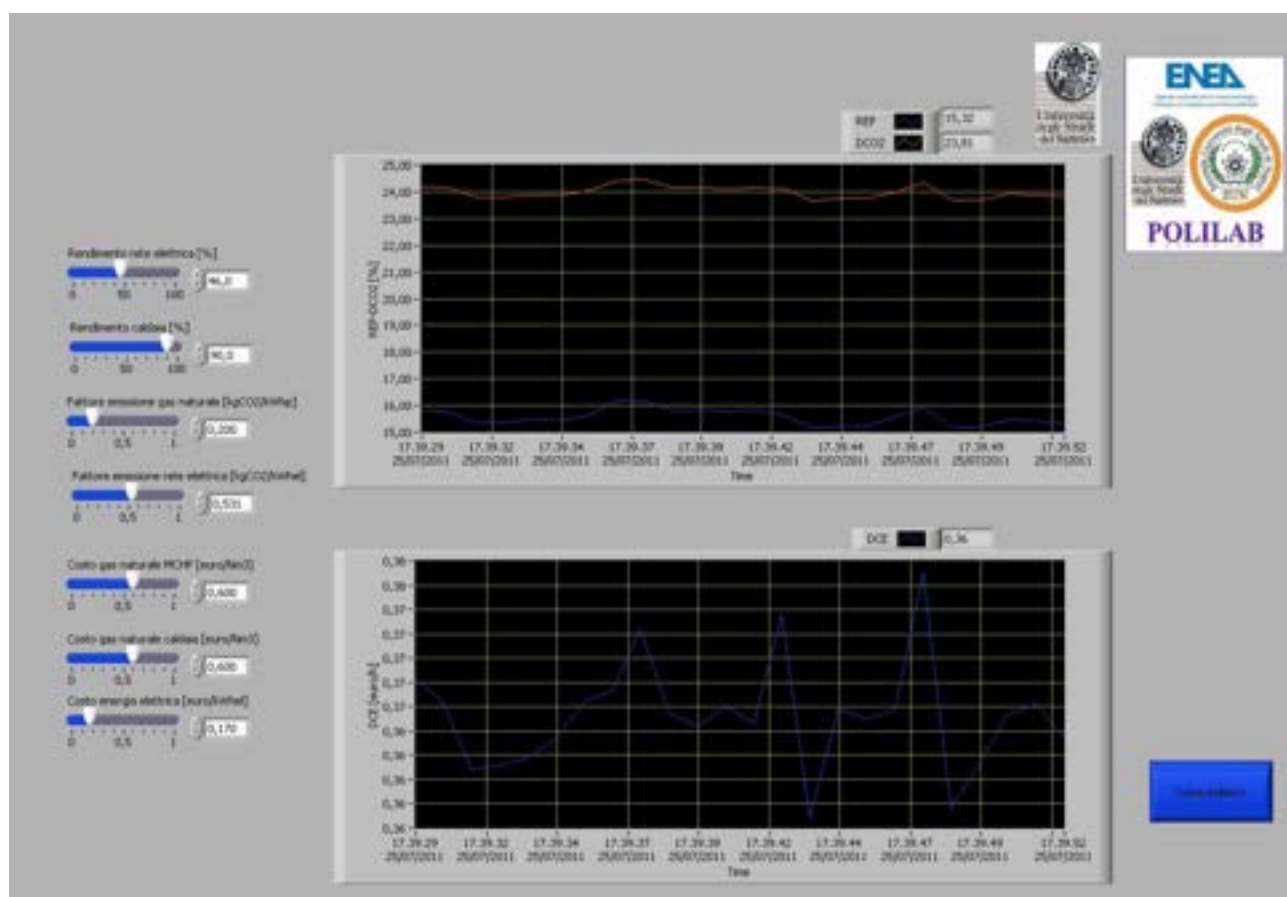


Figura 27. Maschera per l'analisi delle 3-E relativa al volume di controllo del MCHP

Analogamente, dal menù principale (CALDAIA) è possibile accedere all'analisi del volume di controllo relativo alla caldaia, Figura 28.

Anche in questo caso sono riportate sia le grandezze di interesse misurate, come la temperatura dell'acqua in ingresso ed uscita al volume di controllo, nonché l'andamento temporale ed il valore attuale del rendimento.

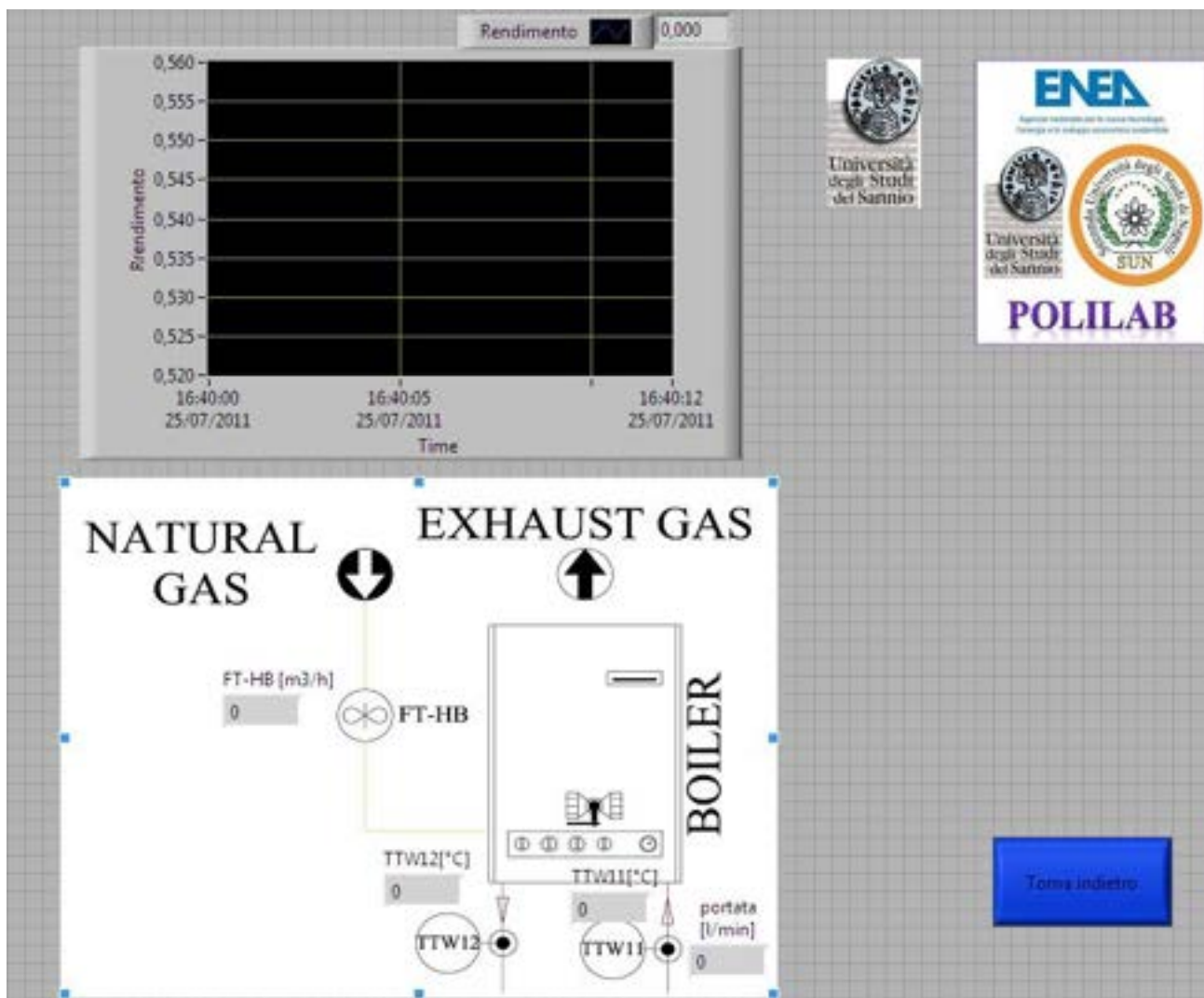


Figura 28. Maschera relativa al volume di controllo della caldaia

In Figura 29 è riportata la maschera di output relativa al refrigeratore di liquido condensato ad aria utilizzato a servizio della UTA a cui si accede ancora una volta dal menu principale (CHILLER). Per le finalità di servizio che tale componente ha nel trattamento dell'aria di processo, vengono visualizzata la potenza frigorifera e le temperature dell'acqua refrigerata immediatamente a monte ed a valle della macchina frigorifera.

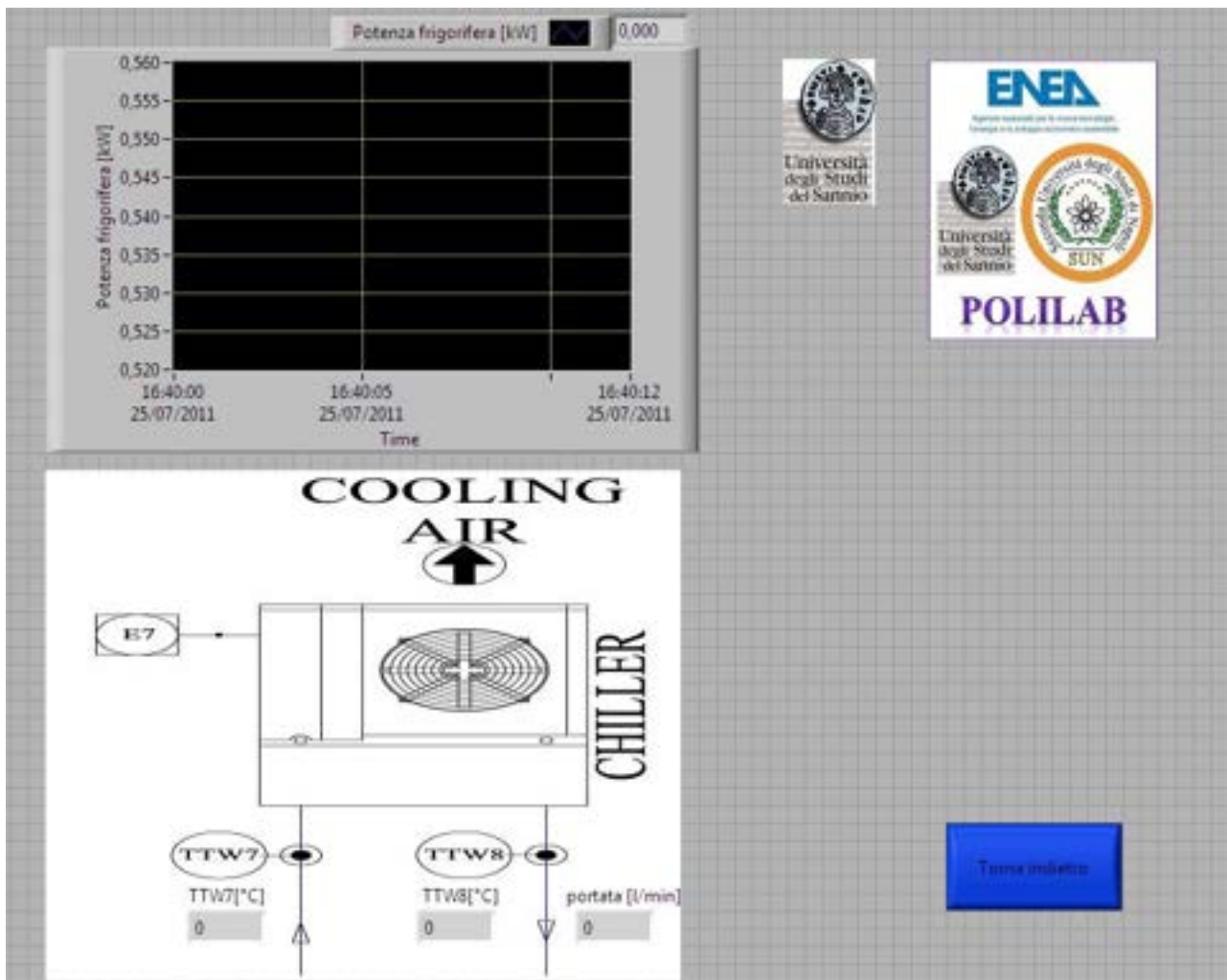


Figura 29. Maschera relativa al volume di controllo della caldaia

Altri componenti per i quali è stata prevista un'analisi remota più dettagliata sono gli scambiatori di calore a superficie aria/acqua presenti nella UTA, quali la batteria fredda, Figura 30, e la batteria calda, Figura 31. Per entrambi gli scambiatori di calore è possibile visualizzare i valori in tempo reale delle principali proprietà termodinamiche, lato aria e lato acqua, e della loro efficienza.

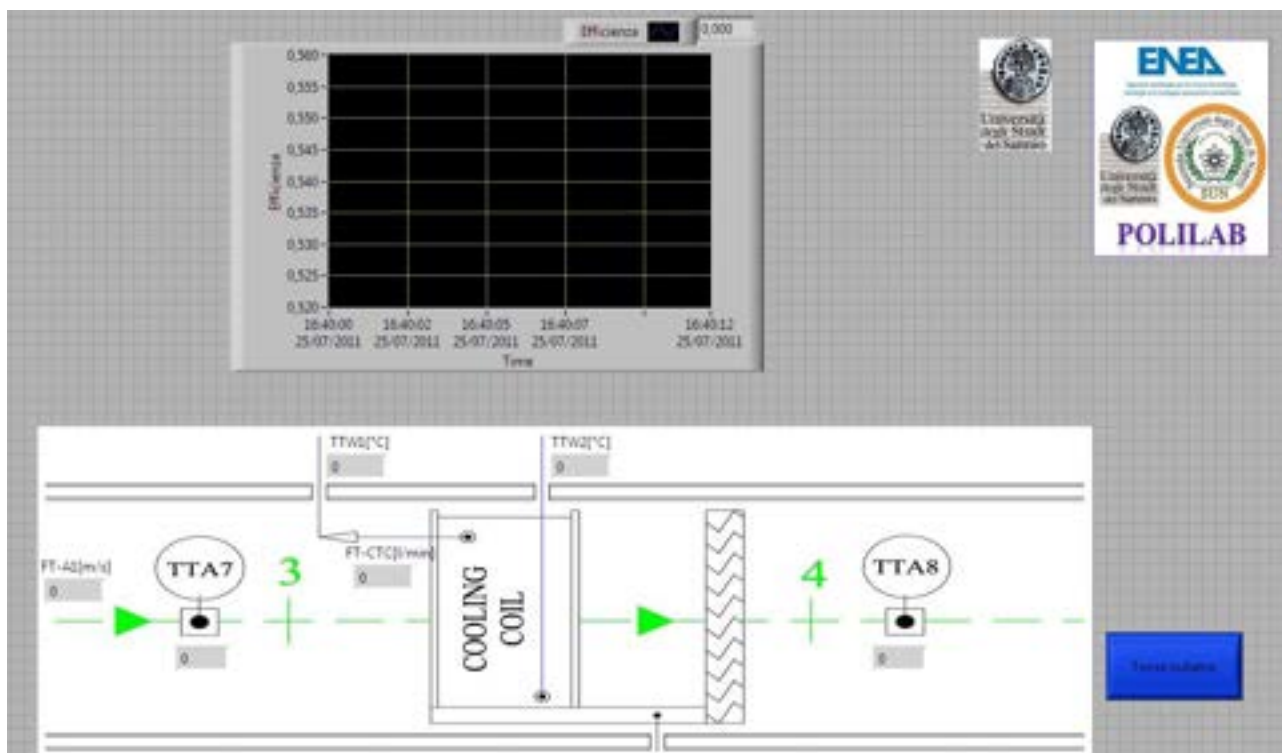


Figura 30. Maschera relativa al volume di controllo della batteria fredda

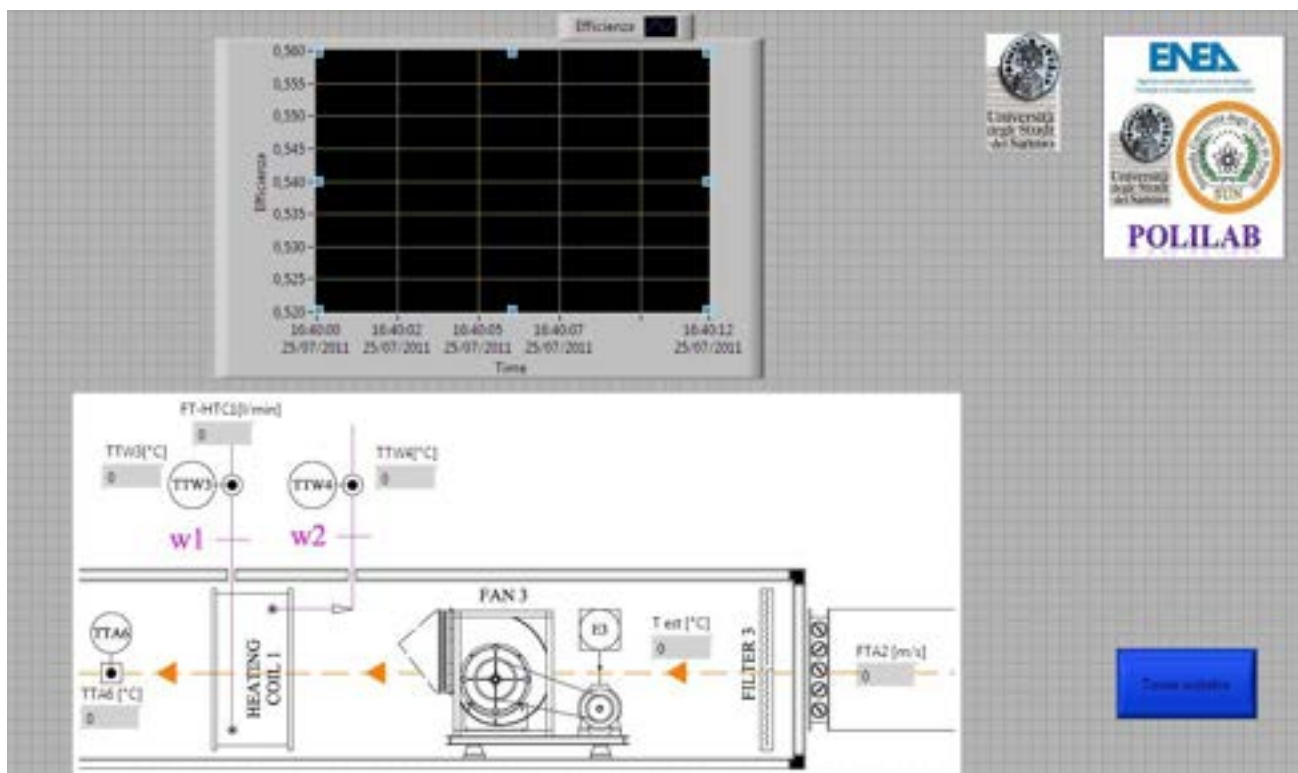


Figura 31. Maschera relativa al volume di controllo della batteria calda

4.3.4 Cartella "Risultati sperimentali"

L'accesso ai file salvati nella cartella "*Risultati sperimentali*" permette all'operatore remoto di effettuare con i consueti software di elaborazione numerica, una post-valutazione della campagna sperimentale di test per analizzare, Figura 32:

- il funzionamento dell'impianto e/o dei suoi componenti su base temporale più ampia (giorno, settimana, stagione, anno);
- l'influenza sulle prestazioni del poligeneratore e dei suoi componenti di variabili operative e/o esterne.

Nei file i dati sono riportati coerentemente ai simboli della Figura 24.

	A	B	C	D	E	F
1	orario	TTW1[°C]	TTW2[°C]	TTW3[°C]	TTW4[°C]	TTW5[°C]
2	10:30:18	13.07	2.31	70.69	60.60	78.98
3	10:30:19	13.17	2.31	70.88	60.60	79.07
4	10:30:20	13.07	2.21	70.69	60.60	79.07
5	10:30:21	13.07	2.21	70.88	60.60	79.17
6	10:30:22	13.07	2.31	70.69	60.60	79.07
7	10:30:23	13.07	2.31	70.88	60.60	79.17
8	10:30:24	13.07	2.21	70.88	60.60	79.07
9	10:30:25	13.07	2.31	70.88	60.60	79.07
10	10:30:26	13.07	2.31	70.88	60.60	79.07
11	10:30:27	13.07	2.31	70.88	60.60	78.98
12	10:30:28	13.07	2.21	70.69	60.60	78.98
13	10:30:29	13.07	2.21	70.88	60.60	78.88

Figura 32. Esempio di documento presente nelle cartella "Risultati sperimentali"

4.4. SOFTWARE DI MONITORAGGIO, CONTROLLO E GESTIONE REMOTA DELL'IMPIANTO DI POLIGENERAZIONE SUN

In analogia a quanto implementato con riferimento al laboratorio Unisannio (cfr. § 4.3), anche per la centrale frigo_termo_elettrica presente presso la SUN, è stato progettato, implementato e testato un SW di monitoraggio e controllo "*web-based*" sviluppato in ambiente "*Labview*", "*PoliLab_SUN*". Esso consente di visualizzare le principali grandezze termodinamiche acquisite, relativamente a differenti volumi di controllo. a titolo di esempio si riporta la maschera relativa all'intero impianto da cui è possibile desumere in tempo reale le principali proprietà termodinamiche dei fluidi in gioco, flussi energetici e dei consumi, Figura 33.

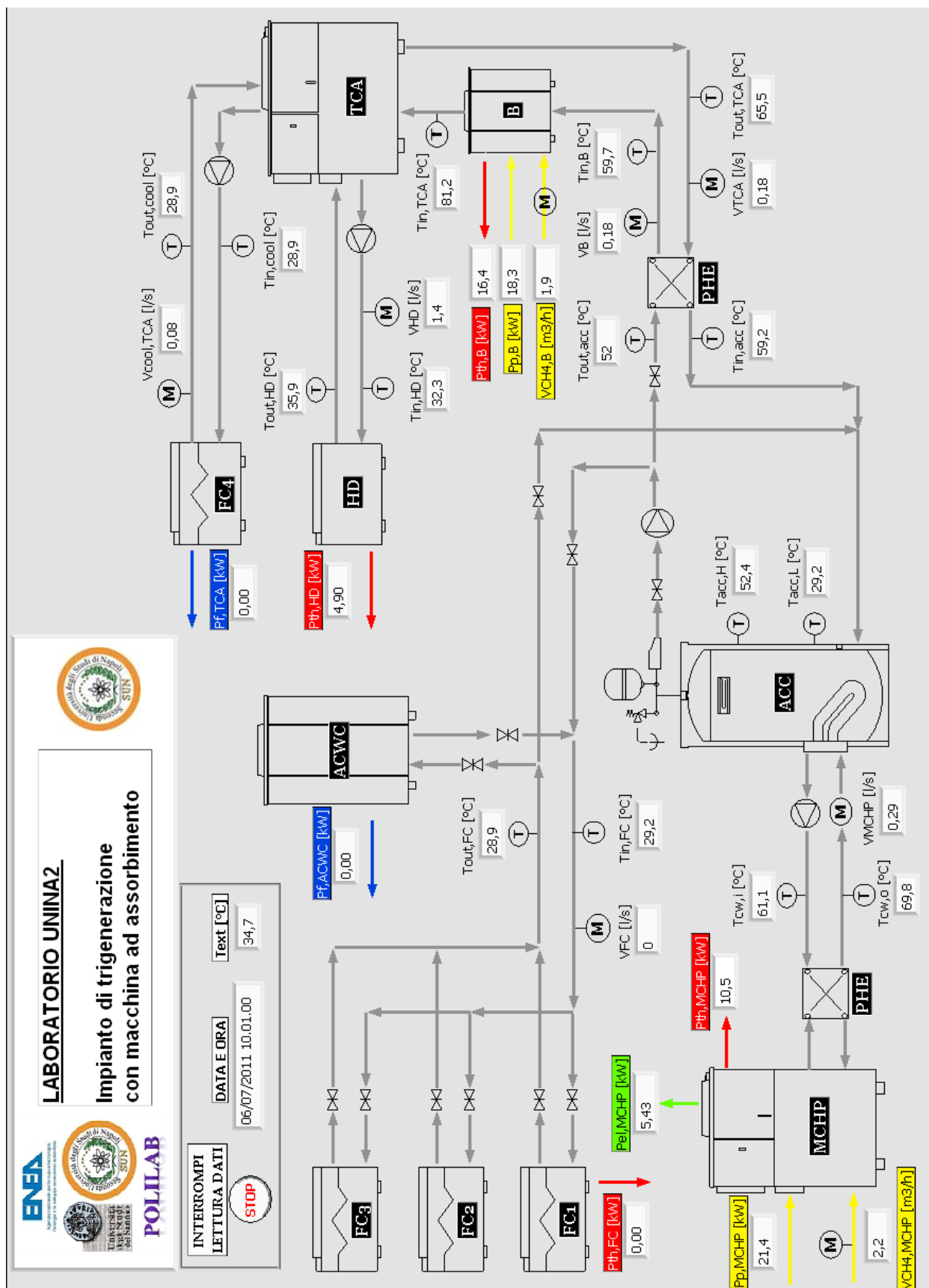


Figura 33. Maschera di acquisizione relativa al volume di controllo complessivo dell'impianto di poligenerazione della Seconda Università di Napoli

5. CONCLUSIONI

L'attività di ricerca ha beneficiato della preesistenza di due impianti sperimentali di poligenerazione ubicati in Campania e dotati di ampia dotazione di dispositivi di conversione energetica e strumenti di acquisizione e misura.

In particolare i laboratori permettono l'analisi:

- di un'ampia casistica di sistemi di conversione energetica di sistemi di piccola taglia (MCHP, AHP, HVAC-DW, accumuli, DW, ...);
- dell'interazione con reti di distribuzione esterne con particolare riferimento a quelle di teleriscaldamento e teleraffrescamento;
- delle prestazioni dei dispositivi asserviti a tipologie di utenze differenziate in termini di carichi frigo-termo-elettrici.

Il presente lavoro è stato quindi prioritariamente finalizzato all'upgrade delle dotazioni strumentali e dei software di acquisizione locali per permettere il monitoraggio, il controllo e la gestione remota da piattaforma "*web-based*" implementando un laboratorio virtuale denominato "*PoliLab*".

Pur preesistendo nei laboratori sofisticati software di acquisizione e controllo sviluppati nel consolidato ambiente "*Labview*" che potenzialmente prevedono subroutine per il controllo e la gestione remota si è preferito basarsi su un ambiente di sviluppo "*user-friendly*", caratterizzato da un'ampia diffusione ed affidabilità.

Inoltre, l'adozione del software con licenza gratuita, per applicazioni scientifiche e didattiche quali quella in esame, non incide ulteriormente nel costo iniziale di impianto che rappresenta uno degli elementi di maggiore criticità per la diffusione di dispositivi di poligenerazione in applicazioni di piccola taglia.

Va infine sottolineato che l'implementazione è stata anche orientata alla possibilità di un accesso remoto ad un molteplice numero di software di controllo e gestione locale, condizione molto frequente laddove si interagisca con macchine e componenti di diversa provenienza commerciale ed in assenza di opportune standardizzazione.

6. BIBLIOGRAFIA

- G. Angrisani, C. Roselli, M. Sasso, S. Sibilio, Analisi sperimentale di impianti di poligenerazione di piccola taglia basati su un motore a combustione interna alimentato a gas

- naturale, Atti del 65° Congresso Nazionale ATI – Domus de Maria (CA), ISBN 978-88-90411-63-2, 13-17 Settembre 2010;
- Capozzoli, P. Mazzei, F. Minichiello and D. Palma, Hybrid HVAC systems with chemical dehumidification for supermarket applications, *Applied Thermal Engineering*, vol. 26, pp. 795-805, 2006.
 - R. Possidente, C. Roselli, M. Sasso and S. Sibilio, “Microcogeneration and Polygeneration for Building in Mild Climate”, Proc. of 1st International Conference & Workshop on Microcogeneration & Applications, Ottawa, Canada, 29 Aprile-1 Maggio 2008.
 - R. Possidente, C. Roselli, M. Sasso and S. Sibilio, “Small scale decentralized polygeneration systems”, Proc. of 22nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, ISSN 2175-5426, pp. 605-614, Foz do Iguaçu, Paraná, Brazil, August 31 – September 3, 2009.
 - G. Angrisani, F. Minichiello, C. Roselli, M. Sasso and G.P. Vanoli, “Experimental analysis of small scale polygeneration system based on a natural gas-fired micro-CHP and Hybrid HVAC system equipped with a desiccant wheel”, Proc. of 22nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, ISSN 2175-5426, pp. 635-644, Foz do Iguaçu, Paraná, Brazil, August 31 – September 3, 2009.
 - Roselli, M. Sasso and S. Sibilio, “Experimental analysis of different small scale combined cooling, heating and power systems based on a natural gas-fired reciprocating internal combustion engine”, Proc. of ASME-ATI-UIT 2010 Conference on Thermal and Environmental Issues in Energy Systems, pp. 407-412, ISBN: 978-884672659-9, Sorrento, Italia, 16–19 Maggio, 2010.
 - G. Angrisani, F. Minichiello, C. Roselli and M. Sasso, “Desiccant HVAC system driven by a micro-CHP: experimental analysis”, *Energy and buildings*, Vol. 42, pp. 2028-2035, 2010.
 - G. Angrisani, A. Capozzoli, F. Minichiello, C. Roselli and M. Sasso, "Desiccant wheel regenerated by thermal energy from a microcogenerator: experimental assessment of the performances", *Applied Energy*, Vol. 88, pp. 1354-1365, 2011.
 - G. Angrisani, F. Minichiello, C. Roselli and M. Sasso, "Experimental investigation to optimise a desiccant HVAC system coupled to a small size cogenerator", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 31, Issue 4, pp. 506-512, 2011.
 - G. Angrisani, C. Roselli and M. Sasso, "Experimental tests on a polygeneration system with a desiccant-based AHU", Proc. of Microgen II, 4-6 Aprile 2011, Glasgow, Scotland.

- G. Angrisani, F. Minichiello, C. Roselli and M. Sasso, "Experimental analysis on the performances of a desiccant wheel regenerated by low grade thermal energy", Proc. of International Sorption Heat Pump Conference (ISHPC11), ISBN 978-2-913149-84-7, ISSN 0151-1637, April 6-8 2011, Padova, Italy.
- G. Angrisani, A. Rosato, C. Roselli, M. Sasso, S. Sibilio, "Trial results of domestic CHP & thermally driven cooling", Proc. of Microgen II, 4-6 Aprile 2011, Glasgow, Scotland.