



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



Ricerca di Sistema elettrico

Guida all'utilizzo della CAEESuite

Software sviluppato da ENEA in collaborazione con il CINTEST
(Centro Interuniversitario per l'Innovazione Tecnologica e lo
Sviluppo del Territorio) nell'ambito dell'Accordo di Programma
2015-2017



TOR VERGATA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

Rev.01/2022

Introduzione

CAEESuite (Compressed Air Energy Efficiency Suite) è la software suite sviluppata da ENEA in collaborazione con il CINTEST (Centro Interuniversitario per l'Innovazione Tecnologica e lo Sviluppo del Territorio), coinvolgendo ricercatori dell'Università della Tuscia e dell'Università di Roma Tor Vergata, che consente la caratterizzazione a livello tecnico-economico degli interventi di miglioramento dell'efficienza energetica degli impianti di produzione dell'aria compressa. CAEESuite rappresenta uno strumento di supporto alle decisioni in grado di fornire un feedback sulle potenzialità di efficientamento derivanti da numerose possibili azioni. CAEESuite si compone di otto strumenti utilizzabili indipendentemente, presenti all'interno di un'applicazione liberamente scaricabile dal portale ENEA e che non necessita di alcuna autorizzazione esterna.

Tutti gli strumenti della suite sono rivolti a coloro che desiderano una valutazione di massima dei potenziali benefici provenienti da interventi di efficientamento del proprio impianto aria compressa. La semplice interfaccia grafica rende gli strumenti facilmente utilizzabili anche da utenti non esperti.

L'applicazione è attualmente nella fase Beta dello sviluppo, per questo gli autori si rendono disponibili a domande e chiarimenti sull'utilizzo di CAEESuite oltre che invitare gli utenti a invio di feedback che aiutino a limitare eventuali malfunzionamenti e bug. Ulteriori informazioni di contatto sono reperibili sulla pagina di download del software.

Guida all'installazione

L'installazione di CAEESuite prevede l'installazione precedente dei driver per l'attivazione dei programmi National Instrument. Tali driver sono disponibili gratuitamente per il download all'indirizzo [Download di Labview RunTime di National Instruments](#). È necessario scaricare la versione 2018 di Run-Time nella versione a 32 bit.

Per avviare l'installazione di CAEESuite è sufficiente fare doppio clic con il mouse sull'eseguibile e accettare le condizioni d'uso.

Guida all'utilizzo

CAEESuite si presenta attraverso un'interfaccia molto semplice che si apre con la scheda di presentazione nella quale è possibile trovare alcune informazioni riguardanti i vari tool all'interno della suite.

A destra della linguetta della pagina di presentazione si trovano altre 8 linguette che consentono l'apertura dei singoli tools ed il susseguente utilizzo.

- Facendo clic con il mouse sulla linguetta "Modello di maturità" è possibile accedere alla compilazione del questionario di autovalutazione del sistema di gestione dell'aria compressa.

Il modello di maturità proposto è uno strumento in grado di quantificare la capacità di una organizzazione di gestire i propri fabbisogni energetici (e in particolare quelli relativi alla produzione, distribuzione e utilizzo dell'aria compressa). Attraverso la compilazione del questionario è possibile stabilire il livello di maturità nella gestione efficiente del sistema aria compressa della propria organizzazione.

Il modello di maturità è costruito considerando cinque possibili livelli e quattro dimensioni di maturità (aspetti relativi alla gestione dell'efficienza energetica del sistema aria compressa in azienda, che l'azienda può trattare in maniera più o meno approfondita, con maggiore o minore attenzione), rappresentati nella figura seguente.

	Consapevolezza, conoscenza e competenza	Approccio metodologico	Gestione delle prestazioni energetiche	Implementazione Best Practices e adozione BAT	
5	Ottimizzata: formazione avanzata e continua	Ottimizzato e in uso	Ottimizzato e in uso	Livello tecnologico ottimizzato	OTTIMIZZATO
4	Sviluppo proattività del personale sul tema dell'efficiamento energetico dell'impianto	Sistema di gestione standardizzato ed in uso	Presente ed in uso, con compiti responsabilità diffuse	Vengono implementati interventi per i quali è necessario uno studio approfondito del sistema basato sui dati (prevalentemente gestionali o modifiche strutturali)	INTEGRATO
3	Sviluppo competenze gestionali e di consapevolezza dell'impatto del personale	Gestione per progetti (energy audit)	Parziale e spontaneo, con un responsabile "effettivo"	Vengono implementati anche gli interventi più comuni che richiedono un investimento elevato ma consentono di avere ritorni certi	SISTEMATICO MA NON CONTINUO
2	Prevalentemente tecniche e di livello elementare	Si parla della questione	Raccolta informazioni occasionale	Vengono implementati solo gli interventi più comuni a costo basso o nullo e con importanti ritorni	OCCASIONALE
1	Disperse	Inesistente	Inesistente (bollette)	Inesistente	INIZIALE

Figura 1: Struttura del modello di maturità.

All'interno della scheda si trovano 4 sotto-schede intitolate rispettivamente "Questionario", "Risultati", "Questionario su prospettive future" e "Confronto risultati".

- "Questionario" contiene le 34 domande utili per la valutazione del livello di maturità dell'organizzazione in materia di gestione del servizio aria compressa. Per rispondere alle domande è sufficiente cliccare sul pallino accanto alla risposta desiderata il quale si colorerà di rosso. Dopo aver risposto alle domande, per visualizzare i risultati è necessario premere il "RUN" in alto a sinistra nella toolbar (↵).
- Nella scheda "Risultati" è possibile visualizzare l'indicatore sintetico di maturità, il grado di copertura dei livelli sia attraverso i valori numerici che attraverso il grafico a barre ed il livello di sviluppo delle dimensioni sia attraverso valori numerici che con grafico radar.

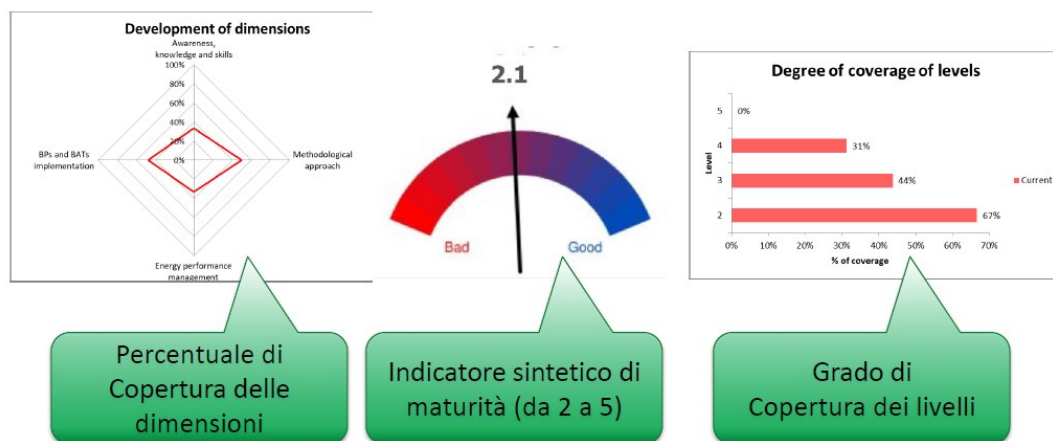


Figura 2: Rappresentazione dei risultati del modello di maturità.

- La scheda "Questionario su prospettive future" raccoglie nuovamente le 34 domande a cui è in questo caso necessario rispondere in base alla situazione futura che si vuole raggiungere (nel breve-medio termine) e può essere utilizzata nel caso l'utente voglia confrontare la propria situazione attuale con gli obiettivi futuri e tenere in considerazione i cambiamenti nei risultati nel caso di modifiche alla gestione del servizio aria compressa. Per ottenere i risultati occorre rispondere a tutte le domande (in questo caso i pallini relativi alle risposte saranno colorati di verde). Dopo aver risposto alle domande, per visualizzare i risultati è necessario premere il "RUN" in alto a sinistra nella toolbar (↵).
- Nella scheda "Confronto risultati" è possibile visualizzare per la situazione attuale sia l'indicatore sintetico di maturità, che il grado di copertura dei livelli sia attraverso i valori

numerici che attraverso il grafico a barre (barre rosse per situazione attuale e verdi per le prospettive future) ed il livello di sviluppo delle dimensioni sia attraverso valori numerici che con grafico radar (linee rosse per situazione attuale e verdi per le prospettive future). In base alle risposte fornite nei due questionari, vengono indicate anche alcune linee guida per il raggiungimento degli obiettivi di crescita futuri.

- Facendo clic con il mouse sulla linguetta “Posizione della presa d’aria” è possibile accedere allo strumento che consente all’utente di valutare la possibilità di ridurre i consumi dell’impianto di compressione dell’aria attraverso lo spostamento della presa d’aria dall’interno all’esterno e la conseguente riduzione della temperatura di ingresso dell’aria. Dopo aver inserito i dati nelle caselle opportune, per il calcolo dei risultati è sufficiente premere il tasto “RUN” in alto a sinistra nella toolbar ().

I dati da inserire riguardano:

- Temperatura ambiente (espressa in °C);
- Portata media elaborata (espressa in Nm³/h);
- Pressione di esercizio (espressa in bar);
- Numero di stadi del compressore;
- Rapporto di compressione del primo stadio;
- Tempo di funzionamento annuo (espresso in h);
- Temperatura uscita inter-refrigeratore (espressa in °C);
- Costo dell’energia (espresso in €/kWh);
- Costo investimento (espresso in €).

Lo strumento fornisce in output:

- Visualizzazione delle temperature considerate;
 - Potenza richiesta (espressa in Kw);
 - Costo per l’energia (espresso in €/anno);
 - Risparmio (espresso in €/anno);
 - Tempo di ritorno (espresso in anni).
- Facendo clic con il mouse sulla linguetta “Perdite d’aria” è possibile accedere allo strumento che permette di valutare in via preventiva il quantitativo di aria compressa persa dalla rete e fornire un primo dato di costo del problema. Lo strumento sviluppato serve proprio a valutare in via preventiva il quantitativo di aria compressa persa dalla rete e fornire un primo dato di costo del problema. Il funzionamento dello strumento si basa sul calcolo della portata persa dall’impianto attraverso la valutazione del tempo di abbassamento della pressione del serbatoio. Per misurare le perdite è quindi necessario che tutte le apparecchiature collegate alla rete siano spente e che il sistema sia alla pressione di set point. Conoscendo la capacità del serbatoio e il tempo in cui la pressione scende di un determinato ΔP è possibile avere una stima della portata persa e dell’energia consumata a causa delle perdite. Dopo aver eseguito tale prova e inserito i dati ottenuti nelle caselle opportune, per il calcolo dei risultati è sufficiente premere il tasto “RUN” in alto a sinistra nella toolbar ().

I dati da inserire riguardano:

- Capacità (volume) del serbatoio (espressa in m³);
- Pressione massima di funzionamento (espressa in bar);
- Pressione minima di funzionamento (espressa in bar);
- Tempo di passaggio della pressione dal livello massimo al livello minimo (espresso in minuti);
- Potenza del compressore (espressa in kW);
- Temperatura dell'aria esterna (espressa in °C).

Lo strumento fornisce in output:

- Portata persa (espressa come frazione % della totale);
- Potenza dissipata (espressa in kW).

Lo strumento consente quindi di valutare in termini energetici quanta potenza viene utilizzata per la produzione di aria compressa che poi viene persa.

Attraverso questo strumento è quindi possibile valutare la fattibilità di un intervento di ricerca e riduzione delle perdite nella rete.

- Facendo clic con il mouse sulla linguetta "Gestione dei filtri" è possibile accedere allo strumento che ha come obiettivo quello di aiutare l'organizzazione nella definizione della strategia migliore per la manutenzione dei filtri. In altre parole, lo strumento sviluppato confronta i costi della gestione attuale, impostando alcuni parametri come la frequenza del cambio filtro, con i costi che si avrebbero aumentando la frequenza delle sostituzioni diminuendo così la caduta di pressione media durante il funzionamento. Lo strumento si basa su un concetto molto semplice: diminuendo il tempo di utilizzo del filtro è meno probabile che si raggiungano perdite di carico elevate e quindi è possibile diminuire il consumo energetico per superare l'abbassamento di pressione. Di contro una strategia di sostituzione troppo frequente dei filtri comporterebbe dei costi di manutenzione eccessivi. Dopo aver inserito i dati nelle caselle opportune, per il calcolo dei risultati è sufficiente premere il tasto "RUN" in alto a sinistra nella toolbar ().

I dati da inserire riguardano:

- Pressione di funzionamento dell'impianto (espressa in bar);
- Portata media del compressore (espresso in Nm³/h);
- Tempo di utilizzo annuo del compressore (espresso in h);
- Intervallo medio di sostituzione dei filtri (espresso in h);
- Delta P massimo per il cambio filtro (espresso in bar);
- Temperatura di ingresso dell'aria (espressa in °C);
- Costo dell'energia (espresso in €/kWh);
- Costo dell'intervento di manutenzione (sostituzione filtro, espresso in €).

Lo strumento fornisce in output:

- Visualizzazione dell'abbassamento di pressione considerato (espresso in bar);
- Variazione dell'intervallo di intervento (espresso in h);
- Risparmio calcolato (espresso in €).

- Facendo clic con il mouse sulla linguetta “Modulazione” è possibile accedere allo strumento che provvede alla valutazione della convenienza dell'adozione di una strategia di modulazione alternativa del compressore a velocità variabile con inverter. Il principio di funzionamento dello strumento definito si basa sulla lettura della pressione del sistema e sul tentativo da parte del compressore (opportunamente modulato in potenza) di mantenere la pressione al livello settato.

Il funzionamento del programma prevede quindi che l'impianto di distribuzione dell'aria abbia un sistema di monitoraggio della pressione del serbatoio e della portata in uscita dal compressore.

Il grafico nella seguente figura illustra il funzionamento del programma spiegato di seguito.

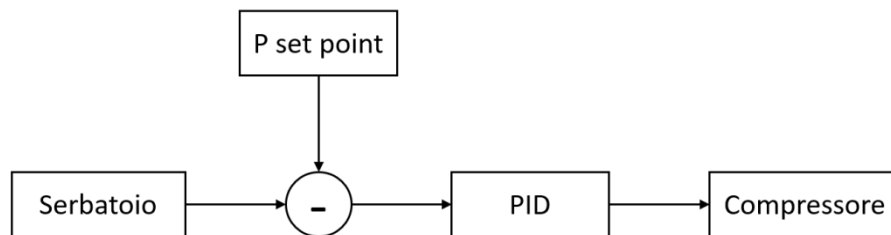


Figura 3: Diagramma di flusso del funzionamento dello strumento.

Il segnale proveniente dal sensore di pressione sul serbatoio relativo al periodo n viene sottratto al segnale relativo alla pressione di set point impostata. La differenza delle pressioni viene inviata ad un regolatore di tipo PID il quale opera una trasformazione del segnale trasformandolo in un segnale in potenza da inviare al compressore. Il compressore al periodo n produce il quantitativo di aria che riporta il serbatoio alla pressione di set point.

Essendo il segnale relativo ad un istante n ed essendo il sistema in funzione durante l'intervallo tra due misurazioni il compressore non riesce ad erogare tutta la portata necessaria al raggiungimento del set point a meno di presenza di portate molto stabili nel tempo.

Per il calcolo dei risultati è sufficiente inserire i dati richiesti e cliccare sul tasto “RUN” in alto a sinistra nella toolbar (↗).

I dati in ingresso devono essere in formato .csv e ciascuna riga deve contenere 3 valori.

- Portata erogata dal compressore (espressa in Nm³/h);
- Potenza compressore (espressa in kW);
- Portata erogata alle utenze (espressa in Nm³/h).

Inoltre, devono essere inseriti i dati relativi a:

- Pressione di set point del serbatoio (espressa in bar);
- Volume del serbatoio (espresso in m³).

Lo strumento fornisce in output:

- Grafico di confronto tra il profilo delle portate prodotte ed il profilo delle portate proposto;
- Grafico del confronto nel tempo tra l'andamento del carico del compressore attuale e proposto;
- Grafico dell'andamento della pressione del serbatoio nel tempo secondo il sistema sviluppato;
- Indicatore numerico del risparmio sui consumi conseguito con l'utilizzo del sistema.

- Facendo clic con il mouse sulla linguetta “Perdite di carico aspirazione” è possibile accedere allo strumento che permette di valutare la buona progettazione del condotto di aspirazione ovvero del tratto che collega il compressore con l'esterno. La valutazione viene fatta sulla base delle perdite di carico del tratto in esame valutandole in base alla lunghezza del ramo e alla presenza di varie singolarità (valvole, curve, ecc.). Per il calcolo dei risultati è sufficiente inserire i dati richiesti e cliccare sul tasto “RUN” in alto a sinistra nella toolbar ().

I dati che l'utente deve immettere per la valutazione sono:

- Portata di aria compressa che attraversa il tratto (definita in Nm³/h);
- Velocità desiderata dell'aria nel tratto di tubazione (espressa in m/s);
- Diametro attuale delle tubazioni (espresso in pollici);
- Lunghezza del tratto (espressa in m);
- Valvole flusso avviato presenti nel tratto (numero);
- Valvole a diaframma presenti nel tratto (numero);
- Saracinesche presenti nel tratto (numero);
- Gomiti presenti nel tratto (numero);
- Curve (raggio uguale al diametro) presenti nel tratto (numero);
- Curve (raggio doppio del diametro) presenti nel tratto (numero);
- Inserzioni a T presenti nel tratto (numero);
- Riduzioni di diametro presenti nel tratto (numero).

Lo strumento fornisce in output:

- Diametro delle tubazioni (espresso sia in pollici che in mm);
- Velocità media nella tubazione (espresso in m/s);
- Perdite di carico totali della linea (esprese in Pa).

Per il calcolo delle perdite di carico la formula empirica seguente è stata utilizzata ed implementata:

$$\Delta P = 1.6 \cdot 10^8 \cdot \frac{Q^{1.85} \cdot L}{d^5 \cdot p_0}$$

In cui:

- ΔP è la perdita di carico espressa in bar;
 - Q è la portata d'aria in Nm³/min;
 - d è il diametro interno delle tubazioni espresso in mm;
 - p_0 è la pressione dell'aria compressa in kg/cm²;
 - L è la lunghezza equivalente della condotta considerando anche la presenza di singolarità.
- Facendo clic con il mouse sulla linguetta “Perdite di carico distribuzione” è possibile accedere allo strumento che consente una valutazione della buona progettazione del primo tratto di rete ovvero quello che collega la sala compressori con le dorsali principali. La valutazione viene fatta sulla base delle perdite di carico del tratto in esame valutandole in base alla lunghezza del ramo e alla presenza di varie singolarità (valvole, curve, ecc.). Lo strumento è utile anche per la valutazione di

qualsiasi altro ramo della rete di distribuzione. Per il calcolo dei risultati è sufficiente inserire i dati richiesti e cliccare sul tasto “RUN” in alto a sinistra nella toolbar ().

I dati che l’utente deve immettere per la valutazione sono:

- Portata di aria compressa elaborata dai compressori che attraversa il tratto (espressa in Nm³/h);
- Temperatura di ingresso dell’aria (espressa in °C);
- Pressione dell’aria compressa (espressa in bar);
- Differenza di temperatura tra ingresso e uscita del compressore (espressa in °C);
- Velocità desiderata dell’aria nel tratto di tubazione (espressa in m/s);
- Lunghezza del tratto (espressa in m);
- Diametro attuale delle tubazioni (espresso in pollici);
- Tempo di funzionamento annuo del compressore (espresso in h);
- Costo dell’energia (espresso in €/kWh);
- Valvole flusso avviato presenti nel tratto (numero);
- Valvole a diaframma presenti nel tratto (numero);
- Saracinesche presenti nel tratto (numero);
- Gomiti presenti nel tratto (numero);
- Curve (raggio uguale al diametro) presenti nel tratto (numero);
- Curve (raggio doppio del diametro) presenti nel tratto (numero);
- Inserzioni a T presenti nel tratto (numero);
- Riduzioni di diametro presenti nel tratto (numero).

Lo strumento fornisce in output:

- Diametro delle tubazioni (espresso sia in pollici che in mm);
- Velocità media nella tubazione (espresso in m/s);
- Perdite di carico totali della linea (esprese in bar);
- Costo annuo per l’energia (espresso in €);
- Risparmio annuo (espresso in €).

Per il calcolo delle perdite di carico la formula empirica seguente è stata utilizzata ed implementata:

$$\Delta P = 1.6 \cdot 10^8 \cdot \frac{Q^{1.85} \cdot L}{d^5 \cdot p_0}$$

In cui:

- ΔP è la perdita di carico espressa in bar;
- Q è la portata d’aria in Nm³/min;
- d è il diametro interno delle tubazioni espresso in mm;

- p_0 è la pressione dell'aria compressa in kg/cm²;
- L è la lunghezza equivalente della condotta considerando anche la presenza di singolarità.
- Facendo clic con il mouse sulla linguetta "Utilizzo 2 livelli di pressione" è possibile accedere allo strumento che consente una valutazione della convenienza dell'adozione di un sistema a più livelli di pressione confrontando i consumi di un sistema che elabora tutta la portata ad un solo livello di pressione con un sistema in cui una parte della portata viene elaborata a pressione minore.

Per il calcolo dei risultati è sufficiente inserire i dati richiesti e cliccare sul tasto "RUN" in alto a sinistra nella toolbar ().

- Portata d'aria compressa media elaborata (espressa in Nm³/h);
- Alta pressione (espressa in bar);
- Bassa pressione (espressa in bar);
- Rapporto tra la portata ad alta pressione e la portata totale (espressa in %);
- Tempo di funzionamento annuo (espresso in h);
- Temperatura di immissione dell'aria nel compressore (aspirazione aria, espressa in °C);
- Costo dell'energia (espresso in €/kWh);
- Costo dell'investimento (espresso in €).

Lo strumento fornisce in output:

- Consumo attuale per la produzione di aria compressa (indicato in kWh);
- Consumo che si avrebbe installando un sistema a due livelli di pressione (indicato in kWh).
- Costo di gestione attuale e dell'alternativa (espresso in €);
- Tempo di ritorno dell'investimento (espresso in anni).