



Ricerca di Sistema elettrico

Buone pratiche CAS – valutazioni e applicazioni industriali

Francesca Bonfà, Ilaria Bertini, Anna Salama

Report RdS/PAR2017/011

BUONE PRATICHE CAS – VALUTAZIONI E APPLICAZIONI INDUSTRIALI

Francesca Bonfà, Ilaria Bertini, Anna Salama (ENEA)

Settembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

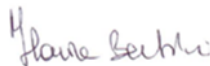
Piano Annuale di Realizzazione 2017

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

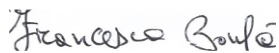
Progetto: "Processi e macchinari industriali"

Obiettivo: B- "Efficienza energetica nella produzione e uso industriale dell'aria compressa"

Responsabile del Progetto: Ing. Ilaria Bertini, ENEA



Responsabile scientifico dell'attività: ing. Francesca Bonfà



Indice

SOMMARIO.....	4
INTRODUZIONE.....	4
FASE 1.....	5
1 ANALISI ENERGETICA DEI CASS.....	5
1.1 SELEZIONE DEI SETTORI PER L'INDAGINE.....	5
1.2 CASS NEL SETTORE DI APPARTENENZA.....	7
1.2.1 <i>Valutazione dello stato energetico mediante analisi tecnica - dimensionale</i>	7
1.2.2 <i>Valutazione dello stato energetico mediante analisi gestionale - funzionale</i>	10
1.3 INCIDENZA DEL SETTORE DI APPARTENENZA NEL SISTEMA INDUSTRIALE.....	13
1.3.1 <i>Valutazione dei CASS mediante analisi tecnica - dimensionale</i>	13
1.3.2 <i>Valutazione dei CASS mediante analisi gestionale – funzionale</i>	16
1.4 LA PIANIFICAZIONE DELLA MANUTENZIONE DEI COMPRESSORI.....	19
1.5 PROFILI A CONFRONTO.....	21
1.5.1 <i>Criteri per l'ottimizzazione del funzionamento dei CASS e per l'uso razionale dell'energia</i>	24
1.6 CARATTERIZZAZIONE OPERATIVE DELLE APPLICAZIONI NEI SETTORI INDUSTRIALI (PER LA RIDUZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI)...	25
1.6.1 <i>Condizioni ideali di funzionamento dei CASS</i>	25
2 SOPRALLUOGHI.....	27
2.1 DESCRIZIONE DEGLI IMPIANTI E DEI PARAMETRI DI FUNZIONAMENTO.....	27
2.1.1 <i>Descrizione del sistema di produzione aria compressa di un'azienda farmaceutica A</i>	27
2.1.2 <i>Descrizione sistema di produzione aria compressa di un'azienda cartiera</i>	28
2.1.3 <i>Descrizione sistema di produzione aria compressa di un'azienda farmaceutica B</i>	29
2.1.4 <i>Descrizione sistema di produzione aria compressa di un'azienda del settore alimentare</i>	29
2.1.5 <i>Descrizione sistema di produzione aria compressa di un'azienda del settore della plastica</i>	30
2.1.6 <i>Descrizione sistema di produzione aria compressa di un'azienda del settore della carta</i>	31
2.2 CONCLUSIONI.....	32
2.2.1 <i>Efficientamento nel breve periodo</i>	32
2.2.2 <i>Efficientamento nel medio – lungo periodo</i>	33
3 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	35

Sommario

Il presente lavoro illustra, quali sono le azioni di efficientamento da avviare, per migliorare nell'industria nazionale, l'efficienza energetica dei sistemi CASs. A conclusione, del triennio di ricerca sono stati individuati, per ogni settore, le tipologie di intervento per l'incremento del risparmio energetico nella produzione e nell'uso dell'aria compressa.

Dai risultati dei profili, mediante i quali è stata definita la situazione energetica dei CASs, in termini di livello di efficienza energetica degli stessi, si è ritenuto essenziale concludere l'attività, partendo dalle condizioni dello stato attuale dei CASs, al fine di individuare i punti di forza e le criticità di ogni settore industriale.

Precisamente, il livello qualitativo dei profili **dimensionale, gestionale e funzionale** è stato il punto di partenza per lo sviluppo dell'analisi che sarà illustrata. Nell'industria italiana, come riportato nel report del PAR/2016/ lo stato di effettivo dei CASs presenta un livello qualitativo medio – basso, sia per quanto riguarda gli aspetti dimensionali e sia per quelli funzionali e gestionali.

L'attività sviluppata mediante sopralluoghi tecnici direttamente in azienda riguarda, principalmente, la validazione e la verifica dei livelli conseguiti nell'annualità precedente.

Pertanto, oltre, la validazione dei risultati ottenuti per i livelli dei profili prima definiti, tra gli obiettivi raggiunti, rientra l'individuazione delle azioni per migliorare i sistemi CASs e le corrispondenti modalità di attuazione, al fine di ottimizzare energeticamente la produzione di aria compressa dei siti industriali.

Introduzione

Partendo dal livello di efficienza energetico dei CASs definito mediante i profili dimensionale e funzionale , sono state individuate le azioni che le aziende dovrebbero intraprendere per il miglioramento energetico.

I sistemi CASs, delle industrie italiane, presentano per il profilo dimensionale un livello basso, per il profilo funzionale un livello medio – basso e per il profilo gestionale un livello medio.

Pertanto, a partire dalla situazione precedentemente definita, sono state individuate le azioni future per migliorare l'efficienza energetica dei CASs per il profilo dimensionale, gestionale e profilo funzionale.

Le azioni individuate, in seguito all'analisi tecnica, sono specifici per ogni profilo e sono :

- il monitoraggio diretto dei consumi, per il profilo dimensionale;
- l'eliminazione degli usi impropri dell'aria compressa, per il profilo gestionale;
- l'eliminazione o la riduzione delle cadute di pressione, per il profilo funzionale.

Al fine di individuare, nei siti prescelti, le migliori condizioni in termini di prestazioni di funzionamento degli impianti CASs, sono state analizzate le fasi del processo di produzione, poiché, le azioni per incrementare l'efficienza energetica dei CASs potranno essere individuate concretamente, solo attraverso l'ottimizzazione delle condizioni e dei parametri del funzionamento effettivo.

Lo sviluppo dell'attività, si suddivide nelle seguenti fasi di lavoro:

Fase 1

- Selezione dei settori di indagine
- Analisi del campione scelto

Fase 2

- Casi studio
- Azioni di efficientamento
- Risultati

FASE 1

1 Analisi energetica dei CASs

Il campione di aziende da analizzare è stato individuato in base al settore industriale di appartenenza, valutando il livello dei profili.

Specificatamente, il criterio utilizzato, si basa sulla valutazione del livello più basso per ciascuno di essi, in base al quale, all'interno dei settori, sono state selezionate le aziende alle quali proporre le azioni di efficientamento per migliorarne il livello di efficienza [13],[10].

Nell'ambito di ogni profilo, al fine di stabilire quali sono i settori più virtuosi, sono state effettuate due tipologie di valutazioni: una riguardante l'azienda all'interno del settore e, l'altra riguardante il singolo settore rispetto a tutti gli altri. In pratica, con la prima valutazione è stata esaminata la percentuale di aziende di un settore che hanno fornito la risposta i-ma sul totale delle risposte, fornite da tutte le aziende, appartenenti allo stesso settore (valutazione per colonna)¹. Mentre, con la seconda valutazione sono state analizzate il numero di aziende che hanno fornito la risposta i-ma sul totale di tutti i settori, ovvero, è stata valutata la stessa risposta in ogni settore (valutazione per riga)².

Nella prima fase dell'attività sono stati analizzati, per le aziende selezionate per i sopralluoghi, alcuni aspetti del profilo dimensionale e alcuni parametri per il profilo funzionale.

Per gli aspetti di carattere *tecnico-dimensionale* sono stati valutati:

- il posizionamento della presa d'aria;
- lo stato termo-fisico della presa d'aria.

Mentre, per la tipologia *gestionale - funzionale*, sono stati valutati:

- la pressione di funzionamento nominale dei compressori;
- la modulazione della pressione di esercizio;
- le perdite di aria compressa nella rete di distribuzione;
- il profilo di richiesta dell'aria compressa;
- il planning di manutenzione dei compressori;
- il sistema di regolazione dei compressori (on/off, vuoto/carico, inverter);
- le cadute di pressione nell'impianto di distribuzione dell'aria compressa.

1.1 Selezione dei settori per l'indagine

La scelta dei settori da analizzare, è stata effettuata sulla base del consumo elettrico per l'aria compressa, valutato sia sul consumo totale elettrico del settore e sia sul consumo totale elettrico nazionale. Precisamente, è stato calcolato l'indicatore μ definito come:

$$\mu = \text{kWhe}_{(\text{CAS})_i} / \text{kWhe}_{(\text{TOT})} \quad (1)$$

Esso è un indicatore efficace soprattutto nella gestione energetica degli impianti industriali italiani [5], [7]. A tal fine, sono stati utilizzati i dati del Data Base creato da ENEA per i consumi delle aziende energivore.

¹ Valutazione delle risposte che è stata data dal maggior numero di aziende all'interno dello stesso settore

² valutazione del settore all'interno del totale settori dell'industria, ovvero, si valuta la stessa risposta per tutti i settori

Pertanto, dai dati globali di energia elettrica (ETOT) calcolati per ogni settore, sono stati ricavati quelli parziali e specifici per la produzione di aria compressa, dopo aver definito l'esatta corrispondenza tra i valori forniti dalle aziende e le unità di misura specifiche della produzione del settore. Nella Tabella 1-1 si riporta il consumo elettrico di aria compressa sul totale elettrico del settore, con i quali sono stati scelti i settori.

Tabella 1-1. Incidenza percentuale del consumo aria compressa sul totale elettrico del settore

Settori	kWhe CAS/ kWhe TOT
Prodotti chimici	25.94 %
Plastica	7.00 %
Prodotti alimentari	6.32 %
Prodotti farmaceutici	5.58 %
Carta e suoi prodotti	2.95 %

Dalla stessa tabella, si evince, che il consumo di energia dei CASs è compreso negli intervalli variabili dal 3% al 13%, con un valore medio di 7 % tra i diversi settori, ad eccezione del valore **significativo** di 25,94 % del settore prodotti chimici. In tali settori, sono state selezionate le aziende alle quali effettuare dei sopralluoghi, sia per avere riscontro dei loro consumi e sia per individuare le azioni per effettuare gli interventi di efficientamento energetico idonei e adatti al singolo settore [12], [14].

Dalla discretizzazione, dei dati di consumo del singolo settore, si è passati alla valutazione del consumo elettrico del settore sul valore totale di energia elettrica nazionale. Nella Tabella 1-2, si riporta l'incidenza del consumo energia elettrica "specifico" rispetto al corrispondente consumo totale nazionale complessivo.

Tabella 1-2. Incidenza consumo aria compressa sul totale elettrico industriale nazionale

Settori	kWhe CAS/ kWhe TOT
Prodotti chimici	4.90 %
Plastica	0.44 %
Prodotti alimentari	0.72 %
Prodotti farmaceutici	0.21 %
Carta e suoi prodotti	0.32 %

Dopo aver esaminato i consumi si è passati a elaborare, tutte le questioni inerenti la produzione energetica nei CASs. L'intento è stato quello di individuare le tendenze aziendali per stimolare e indirizzare il miglioramento energetico, mediante, azioni effettivamente percorribili [6], [11]. Tra le azioni che dovrebbero essere considerate, come priorità, per l'efficientamento energetico e per il miglioramento globale dell'industria, sono quelle che contribuiscono a migliorare, almeno parzialmente se non totalmente, l'efficientamento dei sistemi di produzione dell'aria compressa [8], [9]. In particolare, l'efficientamento riguarderà i :

- sistemi di misura di energia;
- sistemi di regolazione dell'energia;
- sistemi di misurazione dell'energia;
- sistemi di controllo dell'energia.

1.2 CASs nel settore di appartenenza

1.2.1 Valutazione dello stato energetico mediante analisi tecnica - dimensionale

Per ogni settore, è stata effettuata l'analisi parametrica dell'azienda, mediante la valutazione del peso della risposta dell'azienda, all'interno dello stesso settore.

Per il profilo dimensionale, la valutazione è stata ottenuta dal confronto delle singole risposte, ovvero, effettuando la valutazione per colonna, degli aspetti elencati ai punti di seguito riportati:

1. posizionamento e stato della presa d'aria, in ingresso ai compressori;
2. condizioni di esercizio in termini di pressione di funzionamento nominale ;
3. modulazione della pressione (pressione di erogazione) in funzione del carico;
4. perdite di aria compressa nella rete di distribuzione.

Con riferimento al punto 1 dell'elenco, che prende in considerazione sia il posizionamento e sia lo stato termo-fisico della presa d'aria, dall'indagine si hanno le situazioni a. e b. .

- a. La situazione peggiore riguarda la posizione non corretta della presa d'aria, come rappresentato dalla curva blu in Figura 1.
Il settore, dei prodotti in metallo, ha la maggiore percentuale di aziende, che valutano non corretta la posizione della presa d'aria .
- b. La situazione migliore, ovvero, la corretta posizione della presa è rappresentata dalla curva viola di Figura 1.
Il settore che presenta la situazione migliore è rappresentato dalla plastica.

Infine, per quanto riguarda la valutazione degli interventi corrispondenti al risultato rappresentato dalla situazione a., nella quale, è stata valutata non corretta la posizione della presa d'aria (in quanto risulta spesso calda e umida), si evidenzia quanto elencato ai seguenti punti:

- le aziende, che non hanno programmato nessun intervento di miglioramento (curva rossa di Figura 1) che, quindi presentano la situazione peggiore del punto a., appartengono ai settori chimico e tessile.
- le aziende, che hanno programmato un intervento di miglioramento (curva verde di Figura 1) che, quindi presentano la situazione migliore del punto a.

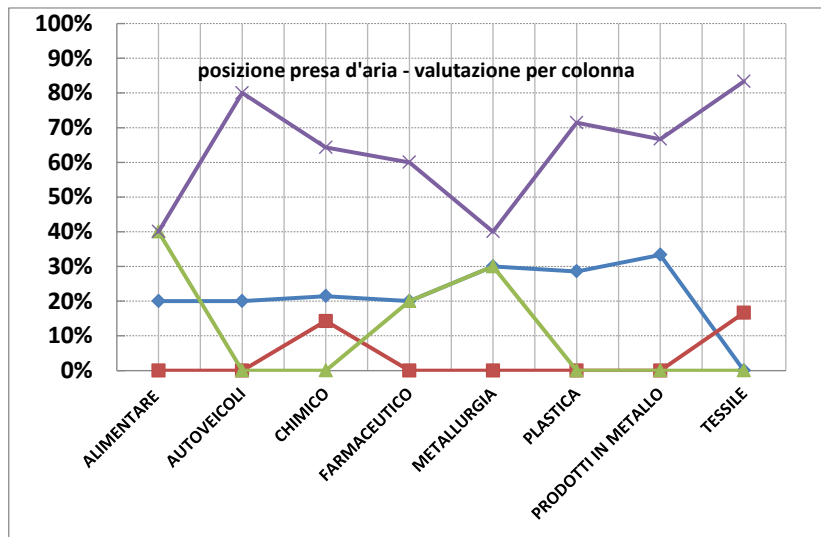


Figura 1. Analisi della presa d'aria (valutazione dell'azienda all'interno del settore)

Con riferimento al punto 2 dell'elenco, riguardante il funzionamento alla pressione di esercizio e la sua differenziazione, in funzione dei valori di carico richiesti, sono stati ottenuti i risultati rappresentati nella Figura 2.

Dall'indagine risultano per il funzionamento alla pressione di esercizio e le sue variazioni le seguenti situazioni.

- c. La situazione peggiore è rappresentata dalla curva blu di Figura 2 e, riguarda le aziende che non hanno valutato la possibilità di ridurre la pressione, cioè, che non effettuano la regolazione. Il settore della metallurgia ha la maggiore percentuale di aziende, che non hanno valutato la possibilità di ridurla e di eseguire la regolazione.
- d. La situazione migliore è rappresentata dalla curva viola di Figura 2 e riguarda la possibilità di gestire separatamente i rami dell'impianto che richiedono pressioni differenti, il settore farmaceutico presenta un'alta percentuale di aziende che la effettuano.

Per quanto riguarda la valutazione del funzionamento, corrispondente alla situazione peggiore - punto c., è emerso che le aziende che hanno settato la pressione sul massimo valore richiesto dalle utenze (curva rossa in Figura 2), appartengono al settore della plastica.

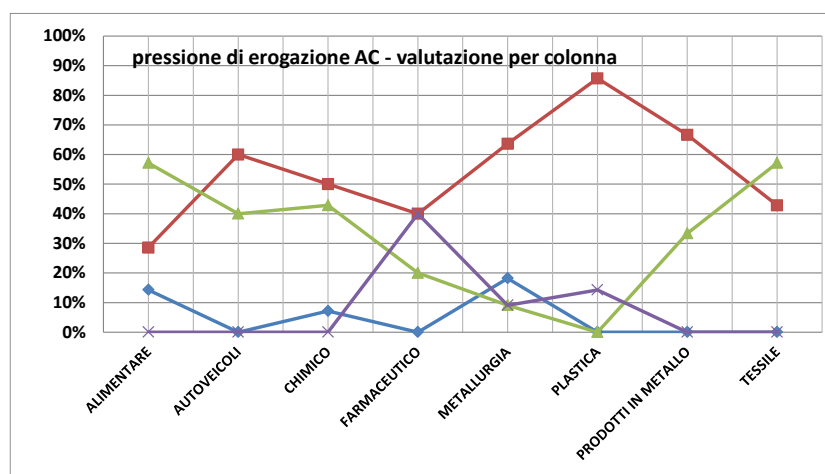


Figura 2. Analisi della pressione di uscita (valutazione dell'azienda all'interno del settore)

Con riferimento al punto 3 dell'elenco, riguardante le perdite di aria compressa nella rete di distribuzione, sono stati ottenuti i risultati rappresentati nella Figura 3, i quali sono stati ricavati dal confronto del peso della risposta dell'azienda, all'interno dello stesso settore mediante le valutazioni per colonna.

Gli aspetti analizzati, per il funzionamento alla pressione di esercizio e/o eventuali sue variazioni, presentano le situazioni di seguito elencate.

- e. La situazione peggiore è rappresentata dalla curva blu della Figura 3 e, riguarda la mancata valutazione delle perdite di aria compressa nella rete di distribuzione. I settori dell'alimentare e della plastica hanno la maggiore percentuale di aziende che, non hanno mai valutato la loro entità.
- f. La situazione migliore è rappresentata dalla curva viola della Figura 3, che corrisponde al caso di individuazione e di riduzione di tutte le perdite, anche, quelle di minore entità. I settori che presentano la situazione migliore sono il tessile e il farmaceutico;

Infine, per quanto riguarda la situazione peggiore punto f., è emerso che:

- le aziende hanno stimato l'entità delle perdite, sulla base di prove di accensione/spengimento dei compressori a impianto fermo e stanno valutando di intraprendere un'azione di miglioramento in tal senso, come rappresentato nella curva rossa di Figura 3, appartengono al settore della metallurgia.
- le aziende, invece, che in seguito ai sopralluoghi hanno rimosso le perdite, almeno le più significative. Inoltre hanno anche, pianificato l'inserimento di apposite valvole a solenoide sui condotti verso le apparecchiature utilizzatrici. La situazione migliore è rappresentata dalla curva verde Figura 3. Come si evince dalla stessa, le aziende con la più alta % sono i settori chimico e farmaceutico.

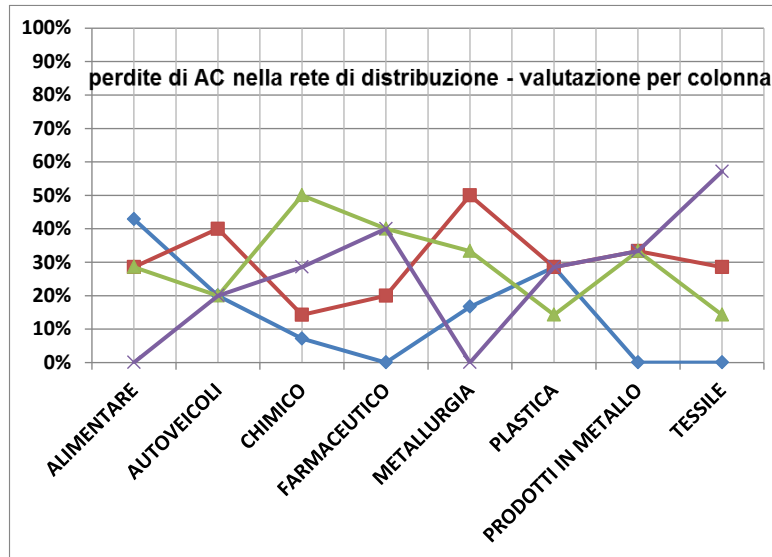


Figura 3. Analisi della perdite di aria compressa (valutazione dell'azienda all'interno del settore)

1.2.2 Valutazione dello stato energetico mediante analisi gestionale - funzionale

Nell'indagine illustrata [3], è emerso che gli aspetti riguardanti le modalità di esercizio gli impianti al variare del carico, dipendono dal sistema rete-impianto, che a loro volta causano le cadute di pressione e conseguentemente la scelta della modalità di regolazione. Pertanto, al fine di pianificare il sistema di regolazione, devono essere noti a priori gli andamenti del profilo di carico di aria compressa e delle cadute di pressione del sistema, nel suo complesso.

L'analisi parametrica dell'azienda, anche in questo caso, è stata effettuata mediante la valutazione per colonna, ovvero, mediante la valutazione del peso della risposta dell'azienda, all'interno dello stesso settore, ottenuta dal confronto delle singole risposte, degli aspetti di seguito elencati:

1. il profilo di richiesta dell'aria compressa;
2. le cadute di pressione nell'impianto di distribuzione dell'aria compressa;
3. il sistema di regolazione dei compressori (on/off, vuoto/carico, inverter).

Con riferimento al punto 1 dell'elenco, che prende in considerazione il profilo di carico di AC, gli aspetti che sono stati indagati presentano le situazioni di seguito elencate.

- g. La situazione peggiore è rappresentata dalla curva blu in Figura 4, da cui si evince, che il settore della plastica ha la maggiore percentuale di aziende che non traccia il profilo.
- h. La situazione migliore, ovvero, l'ottimizzazione della produzione in funzione dei carichi è rappresentata dalla curva nera di Figura 4.

Il settore che presenta la situazione migliore è rappresentato dalla plastica.

Infine, per quanto riguarda la valutazione degli interventi corrispondenti al risultato rappresentato dalla situazione g. nella quale, non viene costruito il profilo di carico, si evidenziano quanto di seguito elencato:

- la % di aziende, che hanno sommariamente ricostruito il profilo, sulla base di dati di targa e, che stanno valutando la possibilità di ottimizzare l'accumulo è rappresentata in Figura 4 dalla curva rossa. Come si evince dalla stessa, quelle che presentano la situazione peggiore, appartengono ai settori alimentare e tessile;
- le aziende, che misurano la domanda di aria e che stanno pianificando un intervento di ottimizzazione, attraverso, l'accumulo o il load shifting presentando una situazione positiva del punto h sono quelli dei prodotti in metallo, rappresentati dalla curva verde in Figura 4;
- le aziende, che misurano la domanda di aria e stanno pianificando dei miglioramenti per l'ottimizzazione attraverso l'accumulo e il load shifting e quindi, presentano una situazione migliore³ del punto h, come riportato dalla curva viola in Figura 4 sono quelli dei settori chimico, farmaceutico e della metallurgia.

³ Saranno entrambi realizzati

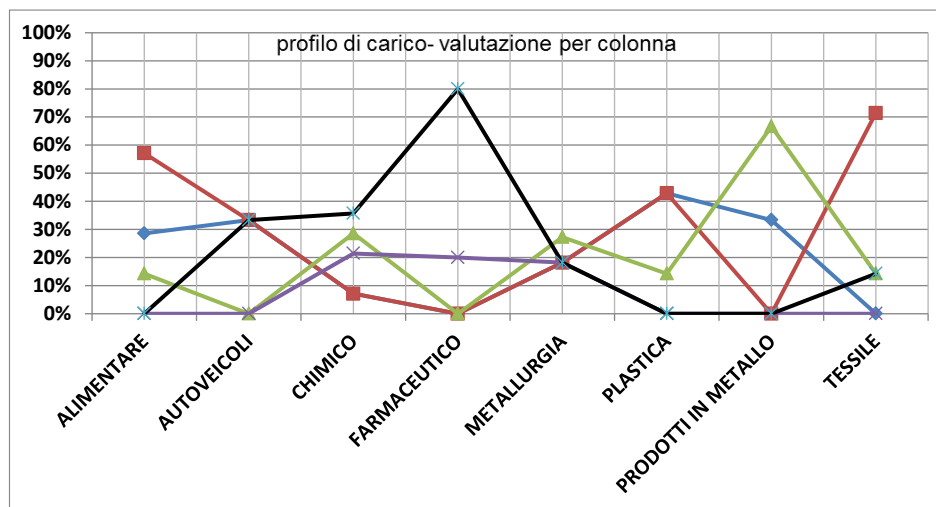


Figura 4. Analisi del profilo di carico (valutazione dell'azienda all'interno del settore)

Con riferimento al punto 2 dell'elenco, che prende in considerazione l'attuazione della regolazione, gli aspetti che sono stati indagati presentano le situazioni di seguito elencate.

- i. La situazione peggiore, ovvero, quella riguardante la mancanza di un sistema di regolazione è rappresentata dalla curva blu in Figura 4.
Il settore che non ha mai effettuato la regolazione è il settore dei prodotti in metallo.
- j. La situazione migliore, ovvero, il sistema è ottimizzato dal punto di vista della regolazione e, l'efficienza del sistema di modulazione viene controllata nel tempo, è rappresentata nella Figura 5 dalla curva nera. I settori che presentano la situazione migliore sono: tessile, autoveicoli e farmaceutico.

Infine, per quanto riguarda la valutazione delle modalità con cui viene effettuata la regolazione, si evidenziano quanto elencato ai punti successivi.

- le aziende, che hanno preso in considerazione la possibilità di effettuare la regolazione, anche se l'eventuale miglioramento non è mai stato valutato, in termini economici, avendone posticipato la valutazione al momento, in cui sarà necessario sostituire uno o più compressori. La curva rossa di Figura 5 rappresenta detta situazione, dove la % maggiore di aziende appartiene ai settori autoveicoli.
- le aziende, che ipotizzano l'inserimento del sistema di regolazione ad inverter sul compressore master, valutato sulla base di dati nominali. Tale situazione è rappresentata dalla curva verde di Figura 5, e i settori che hanno la % maggiore sono quelli dei prodotti in metallo.
- le aziende, che ipotizzano l'inserimento del sistema di regolazione ad inverter sul compressore master è stato valutato sulla base di dati misurati. La curva viola di Figura 5 raffigura detta condizione, e in settori che presentano una situazione buona sono i settori chimico e della plastica.

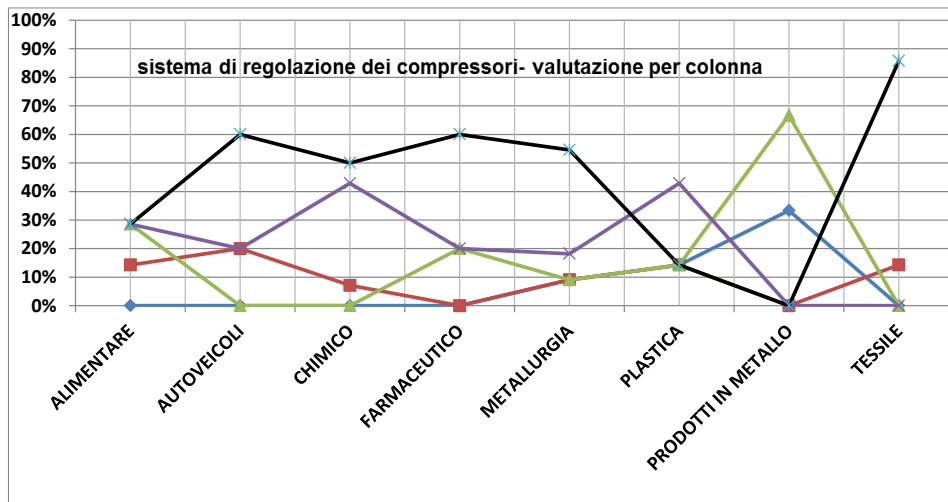


Figura 5. Regolazione dei compressori (valutazione dell'azienda all'interno del settore)

Con riferimento al punto 3 dell'elenco, che prende in considerazione le cadute di pressione nell'impianto di distribuzione dell'aria compressa, gli aspetti che sono stati indagati presentano le situazioni di seguito elencate.

- k. La situazione peggiore, ovvero, quella riguardante l'assenza totale di misurazione delle cadute di pressione, è rappresentata dalla curva blu in Figura 6.
I settori che non hanno mai effettuato una misurazione sono i settori alimentare e degli autoveicoli.
- l. La situazione migliore, ovvero, la rete è ottimizzata per la minimizzazione delle perdite di pressione è rappresentata dalla curva nera, in Figura 6.
I settori che presentano la situazione migliore sono: tessile e farmaceutico.

Infine, per quanto riguarda la valutazione delle modalità di determinare le perdite, si evidenzia quanto elencato ai punti seguenti.

- le aziende, che valutano l'entità delle cadute di pressione e hanno pianificato alcuni interventi di correzione più immediati come: la manutenzione periodica dei filtri, la sostituzione di altre connessioni con saldature, appartengono al settore della metallurgia come rappresentato dalla curva rossa, in Figura 6.
- le aziende, che valutano l'entità delle cadute di pressione e hanno realizzato quasi tutti gli interventi di correzione più immediati⁴, nonché, hanno pianificato alcuni degli interventi più importanti come ad es. : verifica del corretto dimensionamento dei tubi ed eventuale sostituzione, acquisto di manometri, manutenzione delle condizioni dei filtri, correzione della forma della rete per evitare curve che portano all'aumento delle perdite di carico concentrate, appartengono ai settori tessile, metallurgia e plastica, come rappresentato dalla curva verde, in Figura 6.
- le aziende, che hanno pianificato gli interventi più importanti e che hanno iniziato ad implementarne qualcuno, appartengono ai settori farmaceutico e tessile, come rappresentato dalla curva viola in Figura 6.

⁴ e a basso costo

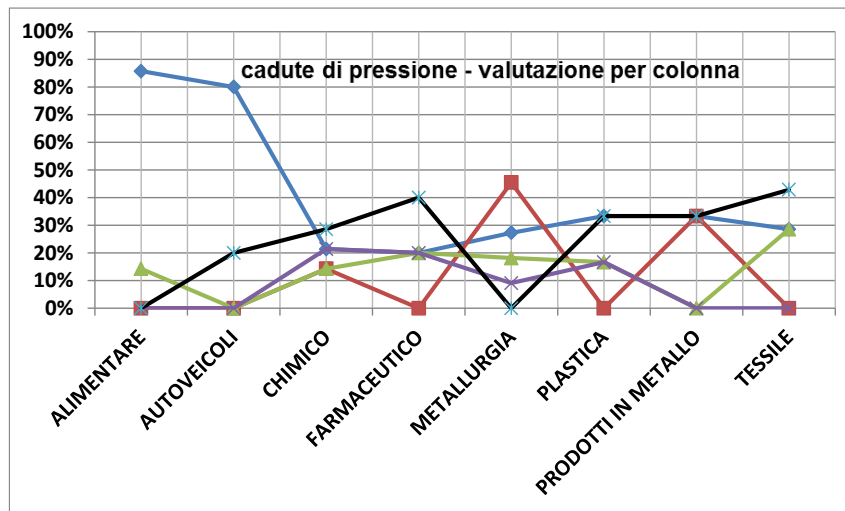


Figura 6. Cadute di pressione (valutazione dell'azienda all'interno del settore)

1.3 Incidenza del settore di appartenenza nel sistema industriale

Nell'ambito di ogni profilo, al fine di stabilire quali sono i settori più virtuosi, sono state effettuate delle valutazioni riguardante il singolo settore rispetto a tutti gli altri, ovvero, è stato analizzato il numero di aziende che hanno fornito la risposta i-ma sul totale (tutti i settori), cioè viene valutata la stessa risposta in ogni settore (valutazione per riga)⁵.

1.3.1 Valutazione dei CASs mediante analisi tecnica - dimensionale

Analogamente alla valutazione illustrata al 1.2.1, sono stati individuati quali sono i livelli di efficienza dei settori dei nodi più importanti sia dal punto di vista *tecnico - dimensionale* e sia degli aspetti strettamente legati al profilo *gestionale-funzionale*.

Con riferimento al posizionamento e allo stato della presa d'aria, in ingresso ai compressori, gli aspetti che sono stati indagati presentano le situazioni di seguito elencate:

- la situazione peggiore che corrisponde alla posizione non corretta della presa d'aria è rappresentata dalla curva blu in Figura 1, nella quale i settori chimico e della metallurgia, presentano la situazione più sfavorevole.
- la situazione migliore è rappresentata in Figura 1 dalla curva viola, corrispondente alla corretta posizione della presa appartengono ai settori chimico, plastica e tessile.

Infine, per quanto riguarda la valutazione degli interventi corrispondenti al risultato rappresentato dalla situazione a., nella quale, è stata valutata non corretta la posizione della presa d'aria in quanto risulta spesso calda e umida, si ha:

⁵ valutazione del settore all'interno del totale settori dell'industria, ovvero, si valuta la stessa risposta per tutti i settori

- la situazione peggiore del punto a., corrispondente alla mancata programmazione di interventi di miglioramento, è rappresentata dalla curva rossa di Figura 7. Dalla stessa si evince che le % più alte di aziende, appartengono ai settori chimico e tessile.
- le aziende che presentano la situazione migliore del punto a., ovvero, che hanno programmato almeno un intervento appartengono ai settori farmaceutico, della plastica e della metallurgia.

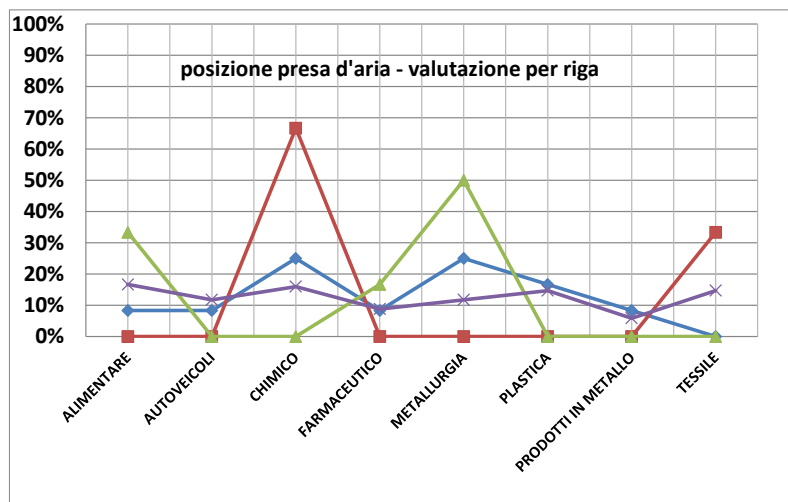


Figura 7. Analisi della presa d'aria (valutazione del settore nell'industria)

Con riferimento, alle condizioni di esercizio in termini di pressione di funzionamento e alla sua differenziazione, in funzione dei valori di carico richiesti, sono stati ottenuti i risultati rappresentati nella Figura 8. I risultati riportati nelle stesse, nascono dal confronto del peso della risposta del settore nell'industria⁶, ovvero, ricavati mediante la valutazione per riga.

Gli aspetti che sono stati indagati sul funzionamento alla pressione di esercizio e le sue variazioni, presentano le situazioni di seguito elencate.

- i settori con il maggiore numero di aziende che hanno la situazione peggiore, cioè, quella relativa alla mancata valutazione della possibilità di ridurla, sono i settori della metallurgia e alimentare come rappresentato dalla curva blu in Figura 8.
- i settori che utilizzano il massimo della pressione⁷, che è settata sul massimo valore richiesto dalle utenze, sono i settori della metallurgia, chimico e plastica. La situazione relativa alla mancata effettuazione della regolazione è rappresentata dalla curva rossa in Figura 8. la situazione migliore che riguarda l'effettuazione della regolazione è rappresentata dalla curva viola in Figura 8. Come si evince dalla stessa, il settore farmaceutico è quello che presenta la situazione migliore.

⁶ distribuzione sul totale

⁷ identificato sulla base di una serie di prove

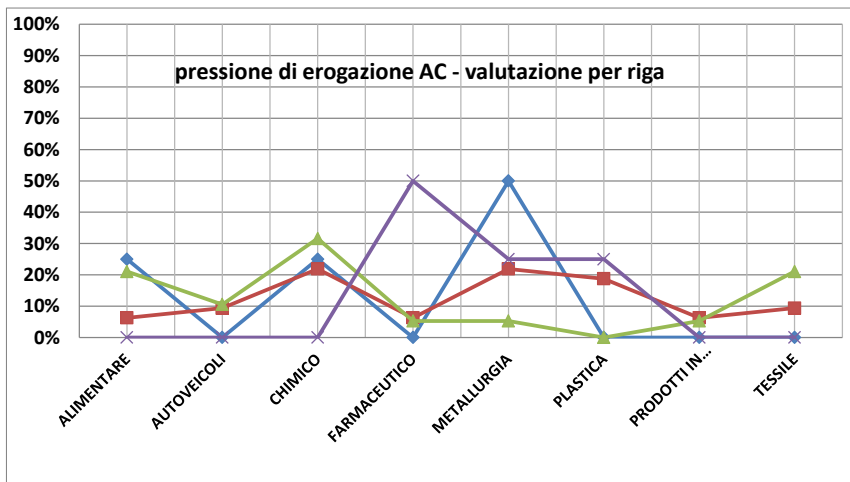


Figura 8 Analisi della pressione di uscita (valutazione del settore nell'industria)

Con riferimento alle perdite di aria compressa, nella rete di distribuzione, sono stati ottenuti i risultati rappresentati nella Figura 9. Gli aspetti analizzati presentano le situazioni di seguito elencate.

- m. la situazione peggiore è rappresentata dalla curva blu, ed è relativa alla mancata valutazione delle perdite di aria compressa nella rete di distribuzione. I settori, con il maggiore numero di aziende, che presentano detta situazione sono i settori alimentare, metallurgia e plastica ;
- n. la situazione migliore che, riguarda il caso di individuazione e di riduzione di tutte le perdite, anche quelle di minore entità, è rappresentata dalla curva viola. I settori che presentano la % maggiore sono il tessile e il chimico.

Infine, per quanto riguarda la valutazione del funzionamento dove non viene effettuata la regolazione⁸, si evidenzia quanto elencato:

- le aziende, che hanno stimato l'entità delle perdite, sulla base di prove di accensione/spegnimento dei compressori a impianto fermo e, stanno valutando di intraprendere un'azione di miglioramento in tal senso, appartengono al settore della metallurgia, come rappresentato nella curva rossa nella Figura 9.
- le aziende, che hanno effettuato dei sopralluoghi, in seguito ai quali sono state rimosse le perdite, appartengono ai settori chimico e della metallurgia, come rappresentato nella curva verde di Figura 9. Si evidenzia, che esse hanno ridotto almeno le perdite più significative, oltre a pianificare l'inserimento di apposite valvole a solenoide sui condotti, verso le apparecchiature utilizzatrici.

⁸ punto m

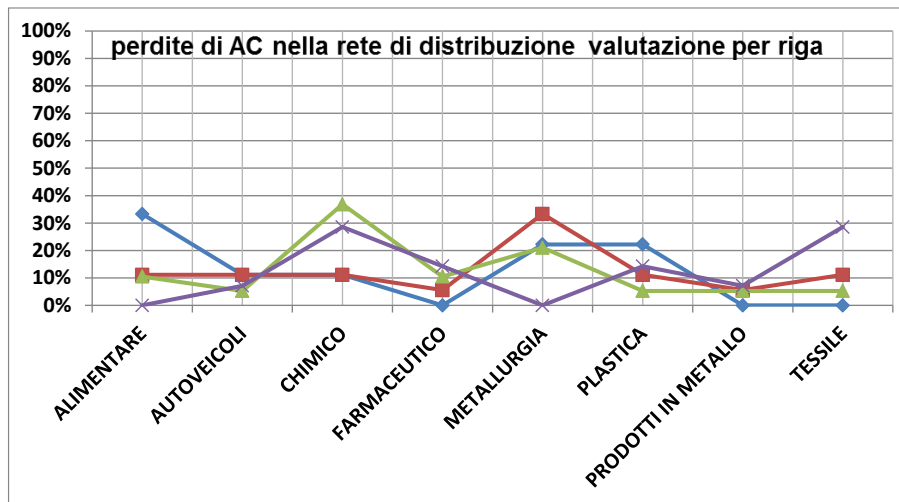


Figura 9 Analisi delle perdite di AC (valutazione del settore nell'industria)

1.3.2 Valutazione dei CASs mediante analisi gestionale – funzionale

Gli aspetti gestionali – funzionali, che sono stati considerati nella valutazione per riga, ovvero, dell'azienda nell'industria, sono :

- I. il profilo di richiesta dell'aria compressa;
- II. la pianificazione della manutenzione dei compressori;
- III. le cadute di pressione nell'impianto di distribuzione dell'aria compressa.

Con riferimento al punto I. dell'elenco, che prende in considerazione il profilo di carico di AC, gli aspetti che sono stati indagati presentano le situazioni di seguito elencate:

- 1) la situazione peggiore è rappresentata dalla curva blu in Figura 10, ovvero, quella riguardante la indeterminazione del profilo. Come si evince dalla stessa, il settore della plastica è quella che ha la percentuale maggiore;
- 2) il settore con il maggiore numero di aziende che presenta la situazione migliore, ovvero, riguardante l'ottimizzazione della produzione in funzione dei carichi è rappresentata dalla curva nera di Figura 10 è quello chimico.

Infine, per quanto riguarda la valutazione degli interventi corrispondenti al risultato rappresentato dalla situazione 1) nella quale non viene costruito il profilo di carico si evidenzia:

- le aziende, che hanno sommariamente ricostruito il profilo sulla base di dati di targa (curva rossa di Figura 10) e stanno valutando la possibilità di ottimizzare l'accumulo, e che quindi presentano la situazione peggiore del punto 1), appartengono ai settori alimentare e tessile;
- le aziende, che misurano la domanda di aria e stanno pianificando il miglioramento per l'ottimizzazione attraverso l'accumulo o il load shifting, e che quindi presentano una situazione discreta del punto 1) appartengono ai settori chimico e metallurgia, come rappresentato dalla curva verde di Figura 10);
- le aziende, che misurano la domanda di aria e stanno pianificando il miglioramento per l'ottimizzazione attraverso l'accumulo e il load shifting, e che quindi presentano una situazione

migliore⁹ del punto k appartengono al settore chimico, come rappresentato dalla curva viola di Figura 10);

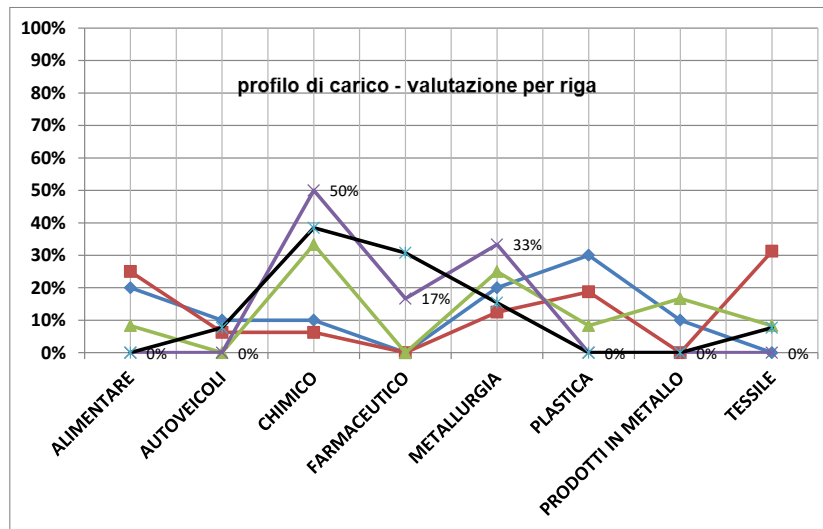


Figura 10. Analisi della del profilo di carico (valutazione del settore nell'industria)

Con riferimento al punto II. dell'elenco, che prende in considerazione l'attuazione della regolazione, gli aspetti che sono stati indagati presentano le situazioni di seguito elencate.

- o. La situazione peggiore è rappresentata dalla curva blu di Figura 11, ovvero, quella riguardante la mancanza di un sistema di regolazione. I settori che non hanno mai effettuato la regolazione, sono i settori dei prodotti in metallo, plastica e metallurgia.
- p. La situazione migliore è rappresentata dalla curva nera di Figura 11, ovvero, il sistema è ottimizzato dal punto di vista della regolazione e l'efficienza del sistema di modulazione viene controllata nel tempo. I settori che presentano la situazione migliore sono tessile, chimico e metallurgia.

Infine, per quanto riguarda la valutazione delle modalità con cui effettuano la manutenzione, si evidenziano quanto elencato ai punti di seguito riportati:

- le aziende, che hanno preso in considerazione tale possibilità ma, un eventuale miglioramento non è mai stato valutato in termini economici, rimandando tale valutazione al momento in cui sarà comunque necessario sostituire uno o più compressori appartengono a tutti i settori tranne il farmaceutico, com'è rappresentato nella curva rossa di Figura 11;
- le aziende, che ipotizzano l'inserimento del sistema di regolazione ad inverter¹⁰ sul compressore master sono quelli dei prodotti in metallo e tessile come rappresentato nella curva verde di Figura 11;
- le aziende, che ipotizzano l'inserimento del sistema di regolazione ad inverter¹¹ (curva viola di Figura 11), e che quindi presentano una situazione buona appartengono al settore chimico.

⁹ Saranno entrambi realizzati

¹⁰ valutato sulla base di dati nominali

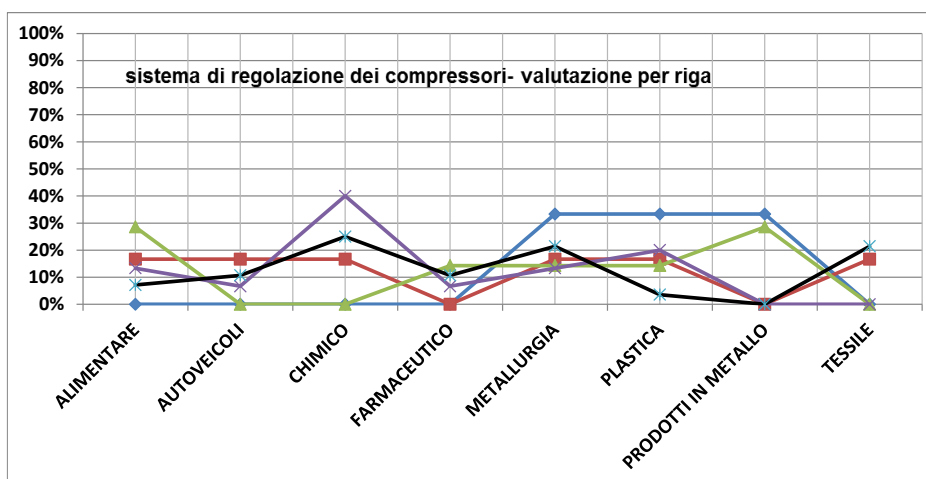


Figura 11. Regolazione dei compressori (valutazione del settore nell'industria)

Con riferimento al punto III. dell'elenco, che prende in considerazione le cadute di pressione nell'impianto di distribuzione dell'aria compressa, gli aspetti che sono stati indagati presentano le situazioni di seguito elencate.

- La situazione peggiore è rappresentata dalla curva blu di Figura 11, ovvero, quella riguardante la totale assenza di misurazione delle cadute di pressione. Le aziende che non hanno mai effettuato una misurazione appartengono al settore alimentare.
- La situazione migliore è rappresentata dalla curva nera di Figura 11, ovvero, la rete è ottimizzata per la minimizzazione delle perdite di pressione. Le aziende che presentano la situazione migliore appartengono al settore chimico.

Infine, per quanto riguarda la valutazione delle modalità mediante cui viene effettuata la manutenzione, si evidenzia quanto elencato ai punti successivi.

- le aziende, che valutano l'entità delle cadute di pressione e che hanno pianificato alcuni interventi di correzione più immediati e a basso costo, come la manutenzione periodica dei filtri, la sostituzione di altre connessioni con saldature appartengono al settore della metallurgia, come rappresentato dalla curva rossa di Figura 11.
- le aziende, che valutano l'entità delle cadute di pressione e hanno realizzato quasi tutti gli interventi di correzione più immediati e a basso costo, nonché, hanno pianificato alcuni degli interventi più importanti come ad es. : la verifica del corretto dimensionamento dei tubi ed una eventuale sostituzione, l'acquisto manometri per la manutenzione sulle condizone dei filtri, la correzione della forma della rete per evitare curve, appartengono ai settori tessile, metallurgia e chimico, come mostrato dalla curva verde di Figura 11.
- le aziende, che hanno pianificato anche tutti gli interventi più importanti e hanno incominciato ad implementarne qualcuno, appartengono al settore chimico come rappresentato nella curva viola di Figura 11.

¹¹ valutato sulla base di dati nominali

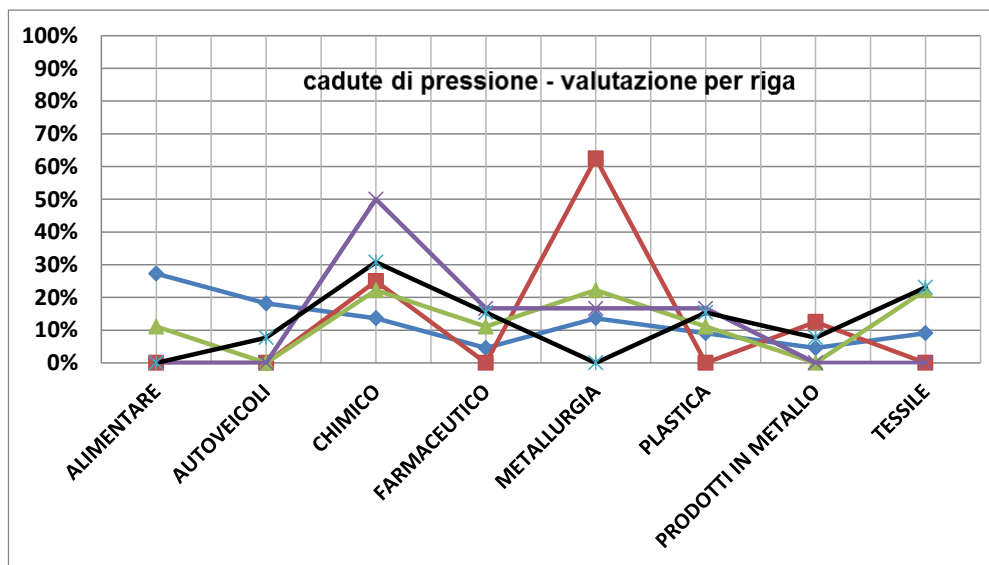


Figura 12. Cadute di pressione (valutazione del settore nell'industria)

1.4 La pianificazione della manutenzione dei compressori

Con riferimento al piano di manutenzione dei compressori, gli aspetti che sono stati indagati presentano le situazioni di seguito elencate.

- q. La situazione peggiore ovvero, quella riguardante la mancanza di un piano di manutenzione è rappresentata dalla curva blu di Figura 13. Tutti i settori hanno nulla la percentuale di aziende che non pianifica la manutenzione.
- r. La situazione migliore, ovvero, la manutenzione dei motori e la pulizia dei filtri di ingresso e dei banchi di raffreddamento avviene su condizione o sulla base del monitoraggio di determinate variabili come segnali deboli .

Il settore che presenta la situazione migliore è rappresentato dal settore chimico, come rappresenta la curva nera di Figura 13.

Infine, per quanto riguarda la valutazione delle modalità con cui viene effettuata la manutenzione, si evidenzia quanto elencato ai punti 1 e 2.

1. valutazione per colonna
 - le aziende che hanno un piano di manutenzione dei motori e un piano di sostituzione¹², ma la pulizia dei filtri di ingresso e dei banchi di raffreddamento avviene al bisogno appartengono ai settori alimentare e plastica, come mostra la curva rossa Figura 13.
 - le aziende, che oltre alla manutenzione dei motori, presentano un piano di manutenzione che prevede anche periodiche attività di pulizia dei filtri di ingresso e dei banchi di raffreddamento appartengono ai settori della metallurgia, alimentare, chimico e plastica, come rappresentato in curva verde in Figura 13.

¹² interventi di pulizia e lubrificazione, di sostituzione cinghie o di sostituzione con motori a più alta efficienza

- le aziende, che effettuano la manutenzione dei motori, la pulizia dei filtri di ingresso e dei banchi di raffreddamento, ad intervalli di tempo regolari e la sua effettiva esecuzione ed efficacia viene controllata e, che quindi presentano una situazione buona, appartengono ai settori farmaceutico e tessile, come rappresentato nella curva viola di Figura 13.

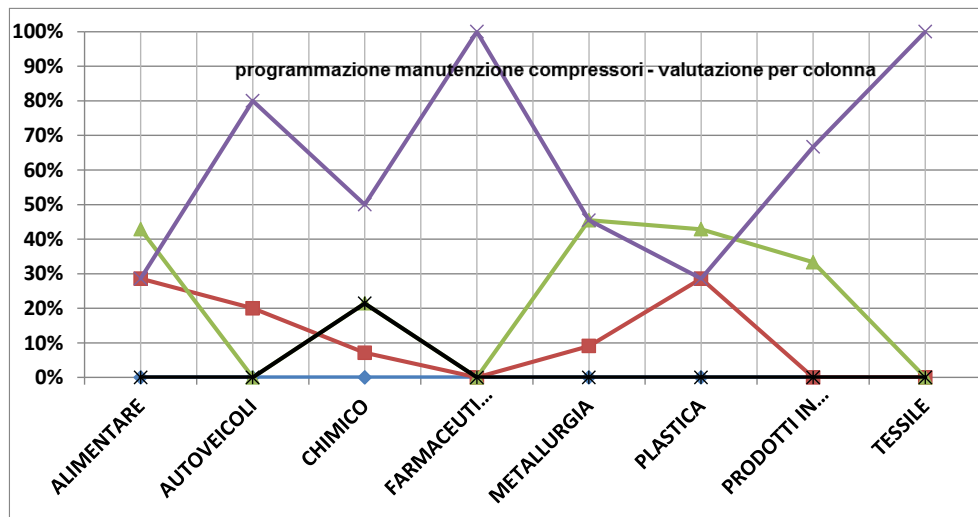


Figura 13. Analisi della manutenzione (valutazione dell'azienda all'interno del settore)

- La situazione peggiore, ovvero, quella riguardante la mancanza di un piano di manutenzione, è rappresentata dalla curva blu di Figura 14. Tutti i settori hanno nulla la percentuale di aziende che non pianifica la manutenzione.
- La situazione migliore, ovvero, la manutenzione dei motori e la pulizia dei filtri di ingresso e dei banchi di raffreddamento avviene su condizione o sulla base del monitoraggio di determinate variabili come segnali deboli. Le aziende che presentano la situazione migliore appartengono al settore chimico.

2. valutazione per riga

- le aziende che hanno un piano di manutenzione dei motori e un piano di sostituzione¹³, ma la pulizia dei filtri di ingresso e dei banchi di raffreddamento avviene al bisogno appartengono ai settori alimentare e plastica, come rappresentato dalla curva rossa di Figura 14.
- le aziende, che oltre alla manutenzione dei motori, presentano un piano di manutenzione che prevede anche periodiche attività di pulizia dei filtri di ingresso e dei banchi di raffreddamento appartengono ai settori della metallurgia, alimentare, chimico e plastica, come rappresentato nella curva verde di Figura 14.
- le aziende, che effettuano la manutenzione dei motori, la pulizia dei filtri di ingresso e dei banchi di raffreddamento, ad intervalli di tempo regolari e la sua effettiva esecuzione ed efficacia viene controllata, come rappresentato nella curva viola di Figura 14, e quindi presentano una situazione buona sono i settori chimico e tessile.

¹³ interventi di pulizia e lubrificazione, di sostituzione cinghie o di sostituzione con motori a più alta efficienza

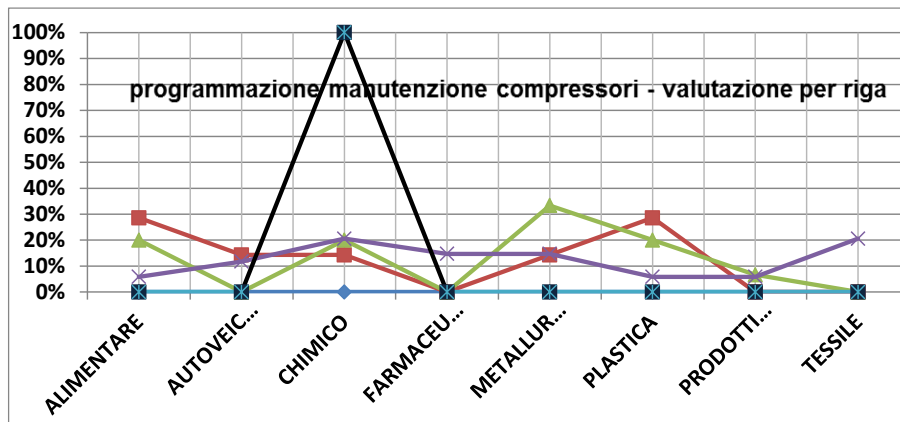


Figura 14. Analisi della manutenzione (valutazione del settore nell'industria)

1.5 Profili a confronto

Per quanto riguarda la costituzione dei profili, si riepiloga lo stato di aggregazione delle domande e dei relativi contenuti:

- ✚ profilo dimensionale costituito dalle Q9, Q10; Q11.
- ✚ profilo funzionale costituito dalle Q5, Q6; Q7, Q8
- ✚ profilo gestionale costituito dalle Q1, Q2, Q3, Q4, Q12.

Per quanto riguarda il **profilo dimensionale** [3] le cui domande sono relative alla posizione della presa d'aria (Q9), al valore di pressione di uscita (Q10) e alle perdite nella rete (Q11), le aziende intervistate presentano rispettivamente:

- ✓ un livello alto, in quanto, prevale in tutte le risposte alla Q9 che costituiscono il profilo, quella secondo cui, le aziende dichiarano che la posizione della presa d'aria all'ingresso (domanda Q9) risulta corretta. Effettuando la normalizzazione sul numero di aziende intervistate nel settore, il migliore livello è rappresentato dai settori autoveicoli, plastica e prodotti in metallo. Mentre, dalla normalizzazione della risposta i-sima effettuata sul totale delle aziende di tutti i settori, i settori chimico, plastica e metallurgia sono quelli che hanno i livelli più alti per tutti i settori.
- ✓ un livello basso in quanto prevale in tutte le risposte alla Q10 che costituiscono il profilo, quella secondo cui, le aziende dichiarano che la pressione alla quale viene fornita l'aria è il valore di picco cioè la pressione massima richiesta (domanda Q10). Effettuando la normalizzazione sul numero di aziende intervistate nel settore, ovvero, il profilo rappresenta il livello dell'azienda rispetto al settore, predomina la risposta che implicitamente indica una bassa regolazione. Dall'analisi emerge che i settori della plastica, prodotti in metallo, autoveicoli, chimico e metallurgia sembrerebbero caratterizzati da una bassa regolazione. Mentre, dalla normalizzazione della risposta i-sima effettuata sul totale delle aziende di tutti i settori, nei settori chimico, alimentare e tessile prevalgono le aziende che forniscono i valori di pressione in funzione della richiesta di aria.
- ✓ un livello basso in quanto prevale in tutte le risposte alla Q11 che costituiscono il profilo, quella secondo cui, l'individuazione delle perdite nella rete di distribuzione e i relativi interventi. Effettuando la normalizzazione sul numero di aziende intervistate nel settore, predomina la risposta che

implicitamente indica un livello medio di diagnosi della rete e della relativa tempistica d'intervento. Dall'analisi emerge che i settori chimico, farmaceutico, prodotti in metallo e tessile sono quelli caratterizzati dal livello medio. Mentre, dalla normalizzazione della risposta i-sima effettuata sul totale delle aziende di tutti i settori, il settore chimico presenta la migliore situazione, ovvero, quello che ha ridotto o eliminato le perdite.

Pertanto, si può affermare che i settori chimico, farmaceutico e i prodotti in metallo sono quelli che presentano complessivamente un livello medio del profilo, mentre, tutti gli altri settori presentano un livello basso. Si conclude, che nel profilo dimensionale il monitoraggio indiretto dei consumi, a conferma di quanto già rivelato, rappresenta una delle azioni che porteranno a migliorare l'efficienza energetica.

Per quanto riguarda il **profilo gestionale** [3] le cui domande sono relative all'efficientamento energetico dei processi produttivi dei CAS (Q1), alle diagnosi sistematiche e documentate dell'impianto aria compressa mediante sopralluoghi (Q2), agli usi impropri dell'aria compressa: perdite nella rete (Q3), alla pianificazione di sistemi di misura (Q4) e alla determinazione dei costi di produzione dei CAS (Q12), le aziende intervistate presentano rispettivamente:

- ✓ un livello buono in quanto prevale, in tutte le risposte alla Q1 che costituiscono il profilo, quella secondo cui, le aziende dichiarano che le procedure di efficientamento energetico (domanda Q1) risultano una prassi consolidata. Effettuando la normalizzazione sul numero di aziende intervistate nel settore, il livello (R4) è presente in tutti i settori tranne che nei prodotti in metallo. Mentre, dalla normalizzazione della risposta i-sima effettuata sul totale delle aziende di tutti i settori, anche in questo caso, il livello (R4) è presente in tutti i settori tranne che nei prodotti in metallo.
- ✓ un livello alto in quanto prevale in tutte le risposte alla Q2 che costituiscono il profilo, quella secondo cui, in tutti i settori tranne quelli della plastica e dei prodotti in metallo, nelle aziende vengono condotti periodicamente l'audit e la pianificazione degli interventi. Considerando il livello dell'azienda rispetto al settore, ovvero, effettuando la normalizzazione sul numero di aziende intervistate nel settore, risulta predominante la risposta che implicitamente indica che, l'efficienza energetica del sistema è direttamente legata alla conoscenza e quindi alla diffusione degli audit e del monitoraggio; in particolare emerge che i settori degli autoveicoli, chimico, farmaceutico e tessile sembrerebbero caratterizzati da un buon livello di maturità. Mentre, effettuando la normalizzazione della risposta i-sima sul totale delle aziende di tutti i settori, risultano confermati i risultati di un buon livello dei settori degli autoveicoli, chimico, farmaceutico e tessile nel campione totale di aziende intervistate.
- ✓ un livello basso in quanto prevale in tutte le risposte alla Q3 che costituiscono il profilo, quella secondo cui, viene effettuata la formazione del personale riguardo le corrette modalità operative e la necessità di spegnere le apparecchiature ma, non viene verificata l'applicazione. Considerando il livello dell'azienda rispetto al settore, ovvero, effettuando la normalizzazione sul numero di aziende intervistate nel settore, risulta predominante la risposta che implicitamente indica un livello basso di verifica della formazione. Tutti i settori hanno la stessa situazione, ad eccezione del settore chimico che presenta una situazione più favorevole grazie ai valori R3, R4;R5, mentre la situazione peggiore si ha per il settore della metallurgia a causa della prevalenza di R2. La tendenza ora descritta, si presenta anche per il profilo ottenuto effettuando la normalizzazione sul totale delle aziende di tutti i settori.
- ✓ un livello molto basso si registra per il monitoraggio dei consumi e della produzione. Di fatto, prevale la risposta secondo cui, le aziende intervistate non hanno mai considerato i sistemi di misura e le loro grandezze caratteristiche. Considerando il livello dell'azienda rispetto al settore, ovvero, effettuando la normalizzazione sul numero di aziende intervistate nel settore, predomina la risposta che implicitamente indica un livello molto basso del monitoraggio.

Si conclude che, anche nel profilo dimensionale il monitoraggio dei consumi, a conferma di quanto già rivelato, rappresenta una delle azioni che porteranno a migliorare l'efficienza energetica.

Per quanto riguarda il **profilo funzionale** [3] le cui domande sono relative ai profili di richiesta dell'aria compressa (domanda Q5), alla manutenzione dei compressori (Q6); alla regolazione dei compressori (Q7) e alle cadute di pressione nella rete di distribuzione (Q8).

- ✓ un livello medio-alto si registra per i profili di richiesta. Di fatto, prevalgono nella stessa misura le risposte R5 e R3 in tutte le risposte alla Q8, ovvero, una parte delle aziende intervistate *analizzano* (R3) e *tendono ad ottimizzare* (R5) altre invece effettuano una *valutazione sommaria* (R2) o *valutazione nulla* (R1). Infine, rappresentano delle eccezioni il settore farmaceutico (valutazione dei carichi e di eventuali integrazioni - prevale R5) e dei prodotti in metallo (valutazione dei carichi e si prevede l'ottimizzazione futura-prevale R3). Considerando il profilo, che rappresenta il livello dell'azienda rispetto al settore, ottenuto dalla normalizzazione sul numero di aziende intervistate nel settore, predominano le risposte che implicitamente indicano un livello complessivo medio-alto. In tutti i settori si verifica la stessa situazione per R5 e R3, ad eccezione dei settori farmaceutico, che presenta una situazione ottima grazie ai valori R5, e dei prodotti in metallo che ha una situazione favorevole (rispetto al livello medio) per la presenza in R3. La tendenza ora descritta, si presenta con lo stesso andamento, effettuando la normalizzazione sul totale delle aziende di tutti i settori.
- ✓ un livello medio-basso in quanto prevalgono le risposte R3 e R2, in tutte le risposte alla Q6 tranne nel settore chimico per il quale sono presenti la R5, la R4 e la R3 che sposta favorevolmente il livello relativo alla pianificazione della manutenzione. Considerando il profilo che rappresenta il livello dell'azienda rispetto al settore, ottenuto dalla normalizzazione sul numero di aziende intervistate nel settore, predomina la risposta che implicitamente indica una *media manutenzione*. Tuttavia, emergono delle forti anomalie per i settori farmaceutico e tessile, poiché, sono nulle tutte le risposte. Mentre una differente situazione si ha per i settori dei prodotti in metallo (*livello medio* – solo R3) e degli autoveicoli (*livello basso* – solo R2). Considerando, la normalizzazione effettuata sul totale delle aziende di tutti i settori, si confermano dei risultati di un buon livello per i settori degli autoveicoli, chimico, farmaceutico e tessile nel campione totale di aziende intervistate.
- ✓ un livello alto in quanto prevale la risposta secondo la quale, in tutte le risposte alla Q7 che costituiscono il profilo, ovvero, la regolazione viene *effettuata e ottimizzata costantemente* (risposta R5). Dalla normalizzazione effettuata sul numero di aziende intervistate nel settore, risulta predominante la risposta che implicitamente indica un livello alto di applicazione e di verifica della regolazione. Più specificatamente, tutti i settori hanno la stessa situazione, ad eccezione dei settori chimico, tessile, autoveicoli e metallurgia che presentano una situazione più favorevole grazie ai valori R5 e R4; mentre la situazione di livello mediocre si ha per il settore dei prodotti in metallo a causa della compresenza di R3 e R1. La tendenza ora descritta, si presenta effettuando la normalizzazione sul totale delle aziende di tutti i settori.
- ✓ un livello basso si registra per la determinazione delle cadute di pressione nella rete di distribuzione. Di fatto, prevale la risposta in tutte le risposte alla Q8, secondo cui le aziende intervistate *non hanno mai misurato le cadute di pressione*. Nel profilo che rappresenta il livello dell'azienda rispetto al settore, ovvero, effettuando la normalizzazione sul numero di aziende intervistate nel settore, predomina la risposta che implicitamente indica un livello basso del monitoraggio. In tutti i settori è presente la stessa situazione per R1, ad eccezione dei settori chimico, autoveicoli, prodotti in metallo, farmaceutico, plastica e tessile che presentano una situazione più favorevole grazie ai valori R5 e R4, mentre la situazione peggiore si ha per i settori della metallurgia e alimentare a causa della prevalenza di R1. La tendenza ora descritta, si presenta con lo stesso andamento, effettuando la normalizzazione sul totale delle aziende di tutti i settori.

Si può concludere, in base ai punti di vista sviluppati nelle domande che costituiscono il profilo, che le aziende presentano un stato caratterizzato dai livelli di efficienza energetica definito nei punti di seguito elencati:

1. profilo dimensionale le aziende presentano un livello basso;
2. profilo funzionale le aziende presentano un livello medio -basso;
3. profilo gestionale le aziende presentano un livello medio;

Nell'ottica futura ci sono margini molto ampi per lo sviluppo delle azioni di efficientamento che sono implicitamente contenuti nelle domande del questionario.

1.5.1 Criteri per l'ottimizzazione del funzionamento dei CASs e per l'uso razionale dell'energia

Per la valorizzazione e l'uso razionale dell'energia, e quindi, per il funzionamento ottimale della rete di aria compressa occorre valutare i parametri di esercizio della rete stessa e dell'andamento energetico della produzione, in funzione del carico. Pertanto, i livelli di efficienza energetica, saranno adeguati alle condizioni di carico grazie a una razionale corrispondenza della loro contemporaneità.

A tal fine, per tutti i compressori, dovrebbero essere effettuate le seguenti misure:

- assorbimenti elettrici;
- portata;
- pressione;
- potenza elettrica impiegata nella produzione di aria;
- parametri elettrici quali tensione, corrente, $\cos\phi$, potenza attiva.

Infine, oltre tali grandezze che dovranno essere valutate puntualmente, è fondamentale valutare e determinare la portata, mediante misure in continuo, a stretti intervalli temporali. Si precisa che, in assenza di misure dirette, la portata può essere dedotta dagli assorbimenti elettrici mediante misure di intensità di corrente. Successivamente, confrontando la portata, effettiva o calcolata, con i consumi rilevati da operazioni di monitoraggio o attraverso simulazioni energetiche, verranno determinate le eventuali perdite energetiche nella rete di distribuzione.

In quest'ambito, potranno essere tracciate le traiettorie per il miglioramento energetico, assumendo come direttrici, gli interventi di risparmio e/o recupero energetico. Tuttavia, si osserva che le problematiche da affrontare potrebbero essere di **tipo gestionale**¹⁴, **tecnologico**¹⁵ e **funzionale**¹⁶.

Tra le principali operazioni, direttamente correlate alla **valorizzazione energetica**, si distinguono in base all'obiettivo da conseguire, si riportano nell'elenco sottostante alcune opportunità.

1. Per il risparmio energetico si potrebbero impiegare compressori a giri variabili;
2. per il recupero del calore si potrebbero utilizzare degli scambiatori di calore, per sfruttare il calore generato nella fase di funzionamento di un compressore, oppure, utilizzarlo direttamente negli essiccatori nel processo. Infine, l'energia termica non dissipata potrebbe essere utilizzata in uno scambiatore di calore per produrre calore da destinare al riscaldamento dei locali o anche ad applicazioni varie (come ad es: asciugatura, lavaggio);
3. per ridurre il lavoro di compressione bisognerebbe utilizzare aria più fredda, poiché l'energia spesa per la compressione dell'aria aumenta con la temperatura della stessa. Abbassando di qualche grado la temperatura, potrebbe ottenersi un risparmio almeno dell'1% di energia ogni qual volta la temperatura si abbassa di circa 3° C.

¹⁴ Ad es. perdite nella rete e usi impropri

¹⁵ Ad es. macchine a bassa efficienza oppure errato dimensionamento del gruppo compressore-motore.

¹⁶ Ad es. a carico parziale anziché a pieno carico oppure produzione di aria compressa a pressioni più elevate di quelle richieste

4. per ottimizzare la produzione si potrebbe attuare la parzializzazione della rete di distribuzione in sotto-reti, poiché, la parzializzazione consentirebbe di utilizzare e di produrre, la portata richiesta a livelli differenti di pressione. Si stima un risparmio energetico che va dal 10% al 25%.

1.6 Caratterizzazione operative delle applicazioni nei settori industriali (per la riduzione dei consumi energetici)

Le linee di trattamento dell'aria compressa sono specifiche per l'impiego nel settore, di fatto la qualità dell'aria compressa dipende dall'applicazione a cui è destinata, in particolare, molte applicazioni richiedono sia una migliore qualità ma anche una maggiore efficienza nella produzione. Le applicazioni sono numerose e variano da quelle prettamente specifiche del settore a quelle più generali fino a quelle particolari .

1.6.1 Condizioni ideali di funzionamento dei CASs

Nelle applicazioni industriali, come già visto, è importante effettuare alcune operazioni, per :

- controllare il livello degli inquinanti dell'aria, poiché, la qualità dell'aria compressa ha un diretto impatto economico sui costi aziendali, in quanto, condiziona le operazioni e le utilizzazioni del processo a cui è destinata;
- avere una pressione costante, nel circuito dell'aria, mediante la regolazione del flusso dell'aria compressa.

Le indagini preliminari hanno riguardato:

1. l'esame delle operazioni costituenti il processo a cui l'aria compressa è destinata, in modo da definire il livello di tollerabilità della presenza di inquinanti e il tasso di umidità in modo da non incorrere nel rischio di provocare la caduta delle prestazioni degli strumenti e delle macchine, impiegati per conseguire l'obiettivo dell'utenza finale.

Ad es: la quantità d'acqua da separare e le tecniche adoperate, dipendono dall'applicazione dell'aria compressa, nonché, dalle condizioni di funzionamento e dal tipo di compressore¹⁷.

Inoltre, l'incidenza delle condizioni termofisiche dell'aria atmosferica e, in particolare, la dipendenza dalla temperatura, sulla quantità di vapore acqueo contenuta è nota. Durante la fase di compressione¹⁸ dell'aria si ha un aumento del vapore acqueo, che dipende dalla pressione di compressione, dalla sua temperatura e dall'umidità relativa. L'acqua prodotta, deve essere eliminata, poiché se viene scaricata nella linea dell'aria compressa, causa dei problemi nei tubi e nell'apparecchiature di collegamento¹⁹. La presenza di umidità e di eventuali microrganismi dipendono dalle condizioni ambientali e dallo stato delle condotte della rete di distribuzione dell'aria. Le particelle presenti, hanno dimensioni dell'ordine del μm , pertanto, riescono ad attraversare il filtro posto all'ingresso del compressore e a diffondersi nei canali, dove possono favorire la crescita di microrganismi, in presenza di depositi di olio e acqua. Le tecniche più diffuse

¹⁷ potenza, pressione, temperatura, rapporto di compressione

¹⁸ Di fatto, l'umidità aumenta all'aumentare della temperatura e diminuisce con essa.

¹⁹ essa deve essere essiccata e raffreddata tramite un post-refrigeratore e un essiccatore.

e impiegate per eliminare l'umidità dall'aria compressa sono: impiego di un filtro a valle del compressore, raffreddamento e separazione, sovracompressione, essiccazione a membrana, essiccazione ad assorbimento e ad adsorbimento.

2. L'analisi delle modalità di regolazione che dipendono:

- dal tipo di compressore;
- dalle variazioni della pressione;
- dalle variazioni della portata d'aria;
- dall'entità delle perdite energetiche.

Nel caso di condizioni di esercizio diverse da quelle nominali, si può effettuare una regolazione di tipo automatica, dove al variare delle richieste²⁰ di pressione o di portata, il compressore si stabilizzerà nella condizione di funzionamento corrispondente alla variazione della richiesta. I modi per regolare la portata sono:

- la regolazione costante della portata, che viene effettuata mediante il controllo del motore o della valvola di ingresso;
- la regolazione carico/scarico che viene effettuata portando la portata a valori nulli quando la pressione è elevata, mentre, quando la pressione diminuisce al di sotto del valore minimo si riporta la portata ai valori di esercizio.

Si evidenzia che, la modalità di regolazione dipende dal tipo di compressore, di fatto le modalità di regolazione saranno diverse per i compressori volumetrici e per quelli dinamici.

Per i compressori volumetrici la regolazione della pressione viene effettuata mediante una valvola limitatrice della pressione che permette di scaricare l'aria quando la pressione diviene eccessiva. La limitazione della pressione è un'azione molto energivora, poiché il compressore deve vincere la contropressione massima e quindi deve essere sempre in funzione. Nei compressori di piccola taglia, la valvola viene aperta completamente e viene quindi effettuato lo scarico, in questo modo il compressore dovrà vincere la pressione atmosferica, abbassando così i consumi energetici.

Per i compressori di taglia <10 kW, quando la pressione raggiunge il limite massimo, viene effettuato l'arresto del motore elettrico.

Nei compressori industriali, viene effettuata la regolazione tramite bypass, nella quale l'aria scaricata dalla valvola viene raffreddata e reimpressa nel compressore. Un metodo semplice per ridurre il flusso, incrementando il rapporto di compressione nel compressore, è lo strozzamento. Per i compressori che possono raggiungere elevati rapporti di compressione come i compressori a iniezione di liquido si riesce ad avere una regolazione spinta, fino al 10% della portata massima, visto gli elevati rapporti di compressione, in questo caso questa regolazione è molto energivora.

Il metodo di regolazione con strozzamento all'ingresso è il metodo più economico, che consente un ampio range di regolazione, con consumi energetici molto bassi. In pratica, la valvola di ingresso è chiusa, anche se un piccolo passaggio rimane aperto, mentre, una valvola di scarico si apre e lascia uscire l'aria di scarico proveniente dal compressore. Il compressore, quindi, funziona con una depressione all'ingresso e una contropressione molto limitata. In questo caso è importante che la limitazione della pressione sia rapida, mentre, il volume d'aria rilasciato sia piccolo.

Infine, uno dei metodi più efficienti, per stabilizzare la pressione in uscita e ridurre i consumi energetici, è rappresentato dalla regolazione della velocità. Anche in questo caso, la sua applicazione e il range di regolazione, dipendono dal tipo di compressore (l'intervallo di regolazione è massimo per i compressori a iniezione di liquido). Attraverso la regolazione della velocità operata dal motore primo a monte del compressore (motore a combustione interna,

²⁰ Ad es. nel caso di un aumento della pressione la corrispondente condizione di regolazione, implicherà l'aumento della portata.

turbina a gas o motore elettrico a frequenza controllata) viene controllata la portata del compressore. Generalmente, si attua la combinazione, del metodo della regolazione della velocità con quello di avvio-arresto, associata al metodo di limitazione della pressione all'arresto.

Per concludere l'analisi dei metodi di regolazione, passiamo ai compressori dinamici: partendo dalla sezione di ingresso del compressore, la regolazione viene effettuata mediante lo strozzamento dell'ingresso, così da modulare la capacità del compressore. Il range di regolazione dipende sia dalle caratteristiche costruttive (come il numero di stadi, geometria delle pale, ecc.) e sia dai fattori di funzionamento (come la temperatura all'aspirazione, il valore della contropressione). La portata minima oscilla tra il 60% e l'80% del valore minimo. Infine, abbiamo la limitazione della pressione all'uscita, mediante l'uso di una valvola limitatrice della pressione o di una valvola di scarico, che permette lo scarico quando la pressione diviene eccessiva. Anche per i compressori dinamici vengono combinati i metodi sopra descritti, con carico-scarico-arresto, in pratica, il flusso in eccesso viene liberato nell'atmosfera (o nell'ingresso), mentre, l'inversione del flusso è limitata all'inversione della valvola di aspirazione, per i flussi inferiori al limite di inversione. Il sistema di regolazione chiude completamente la valvola di ingresso mentre l'uscita del compressore scarica.

2 Sopralluoghi

Dall'analisi dei risultati, ottenuti nell'annualità precedente, sono state scelte le domande da raggruppare in base a dei criteri e/o profili [1], [3],[4]. La valutazione del livello del profilo è stata determinata in base ai livelli di efficienza elaborati nei contenuti delle risposte.

2.1 Descrizione degli impianti e dei parametri di funzionamento

Le aziende scelte per il monitoraggio appartengono a quelle operanti:

1. nella produzione farmaceutica;
2. nella produzione chimica;
3. nel settore alimentare;
4. nella lavorazione della plastica;
5. nella produzione di carta.

Dall'indagine effettuata direttamente in azienda, oltre ai dati e alle politiche di gestione, sono emersi alcuni aspetti importanti che derivano sia dalle caratteristiche, organizzative proprie, dell'azienda e sia dalla struttura impiantistica dell'azienda in esame.

Si sottolinea che gli aspetti, prima definiti, sono stati analizzati sia con l'Energy Manager delle aziende intervistate e sia con gli operatori dei sistemi CASs.

2.1.1 Descrizione del sistema di produzione aria compressa di un' azienda farmaceutica A

L'azienda operante nel settore farmaceutico, ha uno stabilimento che comprende impianti di vario genere (aria compressa, idrico, vapore, elettrico ecc). L'azienda produce differenti tipologie di farmaci sotto forma di polveri, compresse e liquidi.

L'aria compressa viene utilizzata sia nel processo di produzione dei prodotti e sia al servizio degli ausiliari di azionamento, come le macchine di confezionamento e/o le serrande di deviazione dell'impianto di condizionamento, oltre che per il funzionamento dell'impianto antincendio.

Il sistema di produzione di aria compressa è formato da tre compressori a vite con potenze rispettivamente di 500, 350 e 280 kW. Per quanto riguarda, la pressione di erogazione dei compressori, il range di utilizzo è tra 6.5 ÷ 7.5 bar, con il set point fissato tra 6.9 e 7 bar. La rete è composta da 4 maglie sezionabili, prima del collettore. Per le 4 dorsali, è presente un misuratore di portata unico, purtroppo, le misure dei singoli compressori non sono disponibili.

Per quanto riguarda gli altri dispositivi di misura e di regolazione della potenza elettrica è presente un solo misuratore di potenza elettrica in ogni reparto²¹, mentre la regolazione è di tipo load-unload.

➤ La gestione del CAS dell'azienda farmaceutica A

La produzione di aria compressa ha un andamento piuttosto stabile nel tempo, il controllo è di tipo load-unload. Per evitare il rischio di interruzione del servizio, i compressori non sono a velocità variabile con inverter. Per la manutenzione sono state definite delle procedure di controllo, con le quali viene effettuata una manutenzione preventiva delle linee e dei sistemi. Tale controllo deve essere effettuato quotidianamente, in modo da garantire il buon funzionamento delle apparecchiature.

L'analisi di tutte le variabili di processo di produzione come la pressione, la portata e la potenza viene effettuata mensilmente, mentre, il controllo delle perdite di aria compressa viene effettuato in media ogni 2 anni. Si evidenzia, che per effettuare il controllo di tutte le linee di trasporto dell'aria compressa sono necessari da 2÷3 mesi. Per tale ragione, visto l'impegno degli operatori che ne deriverebbe, il controllo viene effettuato in un ampio arco di tempo, di almeno 1 anno. Tuttavia, si evidenzia che, vengono periodicamente effettuate analisi di dettaglio sulle prestazioni dei compressori. Negli ultimi anni, sono state effettuate delle importanti modifiche sulla produzione e sulla gestione aziendale, che hanno portato alla sostituzione di alcune utenze finali, che prima venivano azionate ad aria compressa con altre, azionate elettricamente.

2.1.2 Descrizione sistema di produzione aria compressa di un'azienda cartiera

Un'altra azienda presa in esame è una cartiera, che opera nella produzione di diversi prodotti, che vanno dalla carta comune a quella usata per il rivestimento di mobili.

Nell'azienda, l'aria compressa viene utilizzata per vari usi: per l'azionamento delle macchine di produzione, per il sistema di depurazione delle acque, per i sistemi di pulizia automatica e per permettere il movimento della carta.

Il sistema di produzione di aria compressa è formato da quattro compressori a vite con potenza totale nominale di 400 kW. Per quanto riguarda, la pressione di erogazione dei compressori, il range di utilizzo è tra 6.5 ÷ 7.5 bar, con il set point fissato a 7 bar. La rete di distribuzione dell'aria compressa è ad albero, con alcune sezioni escludibili. Per quanto riguarda, i sistemi di misura e di controllo si ha una regolazione di tipo load-unload e un unico misuratore di potenza elettrica, per ogni reparto.

➤ La gestione del CAS dell'azienda cartiera

La produzione di aria compressa ha un andamento piuttosto stabile nel tempo con picchi temporanei, dovuti alle fasi di passaggio carta. La strategia di controllo Load-unload impiegata, potrebbe non essere idonea, poiché potrebbe portare a un blocco o al rallentamento delle attività. Tuttavia, l'azienda ha deciso di non considerare, come alternativa, l'impiego di compressori a velocità variabile gestiti tramite inverter, a

²¹ Le misure di potenza dei singoli compressori non sono disponibili

causa del costo elevato per l'investimento. Si evidenzia, che la produzione di aria compressa, rispetto alle altre produzioni, è poco influente sulla gestione dello stabilimento. Questa è la ragione principale, per cui non vengono considerati grandi investimenti nel reparto. Tuttavia, l'azienda è molto sensibile alla gestione e razionalizzazione energetica, di fatto, è presente un sistema di cogenerazione, che produce il triplo dell'energia elettrica necessaria allo stabilimento, oltre a generare una parte del vapore necessario per i processi. Con tale sistema, l'azienda riesce a ridurre ad un terzo i costi dell'energia elettrica.

2.1.3 Descrizione sistema di produzione aria compressa di un'azienda farmaceutica B

Un'altra azienda presa in esame è un'azienda farmaceutica che produce varie tipologie di farmaci sotto forma di polveri, di compresse e di liquidi.

Sono molteplici le utilities dell'aria compressa prodotta, tra gli impieghi principali rientrano:

- l'azionamento delle macchine delle varie applicazioni;
- il mescolamento dei liquidi e delle polveri;
- il cleaning;
- il funzionamento dei reattori;
- l'azionamento delle macchine di confezionamento.

Il sistema di produzione di aria compressa è formato da 2 sale, con 3 compressori per sala. Il sistema di controllo dei compressori di ogni sala è così distinto: 2 compressori sono regolati con un sistema di tipo load-unload, mentre, l'altro compressore è regolato con un inverter. Pertanto, sono presenti quattro compressori regolati con sistema load-unload, di cui ciascuno ha una potenza di 90 kW e l'altro ha una potenza di 75 kW, mentre, gli altri due compressori, che sono dotati di inverter, hanno ciascuno una potenza di 132kW.

Per quanto riguarda, la pressione dell'impianto di distinguono due sezioni, una che opera con una pressione di funzionamento di 6.5 bar e l'altra che funziona a una pressione di 7.5 bar. La pressione di erogazione dei compressori è di 7.5 bar, nella rete è presente un unico misuratore di portata, installato prima del collettore delle dorsali. Sono installati 6 serbatoi, di cui 4 hanno una capacità di 5000 litri e gli altri 2 hanno una capacità di 7000 litri. Per quanto riguarda, il sistema di misura ha una gestione a turno alternato dei compressori, ovvero, le misure dei singoli compressori si ricavano escludendo a turno gli altri compressori.

➤ La gestione del CAS dell'azienda farmaceutica B

La produzione di aria compressa ha un andamento piuttosto variabile nel tempo, per questo motivo viene utilizzata una strategia di controllo mista: di tipo load-unload e con inverter. Il carico di base viene prodotto attraverso i compressori mediante una regolazione Load-unload, mentre, la parte variabile viene prodotta con i compressori a velocità variabile.

L'accensione e il funzionamento di tutti i compressori vengono regolati da una centralina da remoto. La regolazione viene effettuata basandosi sul profilo di carico di almeno un mese, mentre, grazie al sistema di monitoraggio installato vengono effettuate le analisi delle prestazioni con una cadenza settimanale.

2.1.4 Descrizione sistema di produzione aria compressa di un'azienda del settore alimentare

L'azienda in esame appartiene al settore dell'industria alimentare, in particolare, produce latte e i suoi derivati. L'aria compressa all'interno dello stabilimento viene utilizzata per:

- i sistemi di imbottigliamento;

- lo spostamento del materiale;
- il funzionamento delle macchine confezionatrici.

Il sistema di produzione di aria compressa è formato da 3 compressori, di cui 2 sono regolati con un sistema di tipo load-unload e l'altro è regolato con inverter. I compressori regolati con sistema load-unload hanno una potenza di 132 kW e di 160 kW, mentre, il compressore dotato di inverter ha una potenza di 132 kW ciascuno. La pressione di funzionamento dell'impianto è di 7 bar.

Il sistema di controllo prevede sistemi di misurazione sulle portate e sui consumi di tutti i compressori.

➤ La gestione del CAS dell'azienda alimentare

Lo stabilimento è dotato di un sistema di misura molto capillare, che consente di avere il controllo sia delle portate richieste e sia di quelle generate. Il sistema di controllo attua 4 tipologie di gestione, ciascuna basata su 4 profili tipo. In particolare, il sistema regola il funzionamento dei compressori in modo che il numero di ore di funzionamento, sia uguale evitando il sovraccarico della macchina. Il profilo di carico richiesto, su base giornaliera è molto variabile, precisamente, dal lunedì al venerdì l'impianto lavora al carico massimo, mentre, durante il fine settimana il carico si abbassa al 40% del carico infrasettimanale. Nell'ultimo periodo si è registrata una variazione del profilo di carico dell'aria, poiché, sono state installate nuove macchine all'interno del settore di produzione. Pertanto, alcune utenze alimentate dall'impianto aria compressa sono state sostituite da altre con alimentazione elettrica. Infine, grazie al monitoraggio delle perdite di aria, si stima che queste si siano ridotte da 350-400 Nm³/h a circa 200 Nm³/h.

2.1.5 Descrizione sistema di produzione aria compressa di un'azienda del settore della plastica

L'azienda utilizza l'aria compressa sia per i sistemi di fabbricazione delle bottiglie e sia per lo scarico delle cisterne.

Nello stabilimento sono presenti due linee: una per il reparto produzione e una per lo scarico delle autocisterne. In ogni reparto, sono installati 2 compressori a vite, uno è destinato al funzionamento del carico di base, mentre, l'altro ha la funzione di riserva.

I compressori installati sono distinti a secondo delle condizioni di impiego, precisamente, l'assetto di funzionamento ha la seguente configurazione:

1. per il carico di base è impiegato 1 compressore con inverter, che ha la potenza di 110 kW;
2. nel caso di manutenzione del compressore con inverter viene utilizzato quello di riserva, che una potenza di 250 kW regolato secondo logica load-unload.
3. per lo scarico delle cisterne sono presenti due compressori ormai non più utilizzati.

L'impianto ha una pressione di funzionamento di 9.7 bar, con un range che varia da 9.2 bar a 9.9 bar.

Nel reparto è presente un sistema di misura dei consumi energetici che, effettua un campionamento ogni 15 minuti. Dall'indagine, non risultano installati sistema di misura delle portate.

La misura delle portate si basa sulle valutazioni effettuate usando come riferimento l'energy driver, calcolato come rapporto tra il consumo per la produzione di aria compressa e il quantitativo di materiale lavorato (kWh/kg di prodotto).

➤ La gestione dei CASs dell'azienda del settore della plastica

Il monitoraggio dei consumi e delle produzioni di plastica viene effettuato su base giornaliera, riuscendo così a definire, sia una *baseline* dei consumi e sia gli *scostamenti*. Si evidenzia, che l'azienda ha avviato un programma di monitoraggio delle perdite, riducendo il consumo di energia elettrica di circa il 14%. La misura delle perdite viene effettuata ad ogni cambio dello *stampo* (approssimativamente una volta al mese). Si precisa che, il cambio dello *stampo* comporta un aumento dei consumi.

L'espansione della rete dovuta all'aumento della produzione, ha richiesto l'adeguamento dei diametri della distribuzione, che sono stati ottimizzati in funzione delle nuove necessità. Di fatto con l'installazione di altre macchine, la quantità di aria compressa richiesta per il funzionamento è superiore rispetto alla configurazione originaria.

2.1.6 Descrizione sistema di produzione aria compressa di un'azienda del settore della carta

L'azienda si è dimostrata molto attenta alla gestione, sia dell'impianto di aria compressa e sia dell'energia in tutte le sue forme di utilizzo. Di fatto, le problematiche riscontrate sono state di non ragguardevole importanza, poiché, i consumi dell'impianto di aria compressa sono bassi rispetto al consumo dello stabilimento.

Tuttavia, si potrebbe migliorare la gestione della produzione adottando alcune soluzioni quali:

- l'installazione dei misuratori di portata elaborata dai compressori e dei misuratori di energia elettrica consumata dai compressori. Tale installazione dovrebbe essere valutata, poiché renderebbe semplice l'analisi dei consumi e faciliterebbe il processo di riduzione degli stessi. Nel caso in cui le installazioni siano troppo costose o tecnicamente difficili, si potrebbe pensare di utilizzare provvisoriamente dei misuratori portatili, così da poter delineare almeno il quadro della situazione.
- la visualizzazione degli scostamenti con l'eventuale definizione di una strategia di intervento, attraverso i dati misurati in continuo o in maniera periodica, così da poter determinare e definire una baseline di consumi.

➤ La gestione dei CASs dell'azienda del settore della carta

In aggiunta, agli interventi sopra elencati, sono state considerate le seguenti opportunità.

- Installazione di un soffiatore, da utilizzare per la pulizia delle apparecchiature, in modo da abbassare il costo per la produzione di aria eliminando così, tale portata da quella elaborata dal compressore.
- Revisione e ridimensionamento, delle lunghezze e dei diametri, dei tratti di rete di distribuzione, che in passato hanno subito delle modifiche e/o interventi di vario tipo. Si sottolinea, che una rete mal progettata comporta delle perdite di carico che, invece, potrebbero essere facilmente evitate.
- Pianificazione di una campagna di ricerca, delle perdite di aria compressa nella linea, attraverso la rilevazione con strumenti ad ultrasuoni. Si evidenzia, che le perdite di aria sono la più importante causa di spreco di energia.
- Analisi delle perdite di carico a fine linea, soprattutto, per quei tratti che sono stati oggetto di modifiche, spesso riguardanti l'aggiunta di ulteriori tratti di rete.
- Sezionamento della rete in più parti, in maniera tale, da poter escludere alcuni i rami che temporaneamente non vengono utilizzati.

2.2 Conclusioni

2.2.1 Efficientamento nel breve periodo

➤ Azioni nell'azienda farmaceutica A

In base all'analisi effettuata in azienda, è emerso l'impegno della stessa di indirizzare le proprie risorse per la gestione dell'impianto di aria compressa. In tale ambito, tra le soluzioni individuate e valutate per la loro attuazione rientrano le seguenti possibilità:

- monitorare le perdite con frequenza maggiore dei 2 anni precedenti, pur sottolineando che nel medio periodo (di circa 2 o più anni) l'impianto di distribuzione potrebbe essere modificato, nel caso di inserimento di nuovi raccordi e tubazioni, con conseguente creazione di nuove perdite di aria compressa;
- sostituire il compressore installato e in uso dal 1983, con uno di più recente costruzione che abbia delle caratteristiche e delle prestazioni più innovative;
- ammodernare le parti di rete di distribuzione che negli anni sono state modificate e ampliate comportando delle perdite eccessive.

➤ Azioni nell'azienda cartiera

Nell'ottica di una campagna di rilevazione di dettaglio, potrebbero essere proposte e valutate alcune soluzioni, quali:

- l'installazione dei misuratori di portata, elaborata dai compressori, e dei misuratori di energia elettrica consumata dai compressori dovrebbe essere valutata.
Tale installazione renderebbe semplice l'analisi dei consumi e faciliterebbe il processo di riduzione degli stessi. Nel caso in cui le installazioni siano troppo costose o tecnicamente difficili si potrebbe pensare di utilizzare, provvisoriamente, dei misuratori portatili così da poter delineare almeno il quadro della situazione. La disponibilità di dati misurati in continuo o in maniera periodica può aiutare l'azienda nella definizione di una baseline di consumi, visualizzare gli scostamenti ed eventualmente definire una strategia di intervento;
- l'installazione di un soffiatore da utilizzare per la pulizia delle apparecchiature abbasserebbe il costo per la produzione di aria eliminando tale portata da quella elaborata dal compressore.

➤ Azioni nell'azienda del settore alimentare

In base alla configurazione dell'azienda, che via via negli anni ha subito alcune modifiche strutturali, possono essere ipotizzate le seguenti attività:

- Verificare che i programmi di gestione del carico dei compressori operino al meglio ottimizzando i consumi anche a seguito delle modifiche apportate alla linea. L'attivazione errata dei compressori comporta perdite di energia dovuta all'aumento dell'assorbimento durante le fasi di transitorio.
- Le modifiche al micro-layout in alcuni reparti hanno portato all'inutilizzo di alcuni rami della rete. La possibilità di distaccare di tali rami dalla rete principale rende possibile l'eliminazione di eventuali perdite d'aria all'interno dei rami che rimarrebbero in pressione anche se non utilizzati.

➤ Azioni nell'azienda del settore della plastica

Al fine di applicare le best practices dei sistemi CASs, si possono ipotizzare alcune osservazioni sugli impianti per quanto riguarda la gestione. Inoltre, viste la continua innovazione del sistema produttivo e la continua modifica delle apparecchiature collegate alla rete, potrebbero essere condotte alcune prove per diminuire la pressione di esercizio dei sistemi in modo tale da verificare la presenza di un eventuale margine di riduzione dei consumi, dovuti alla compressione di aria a pressione eccessiva rispetto alle richieste di normale funzionamento.

2.2.2 Efficiamento nel medio – lungo periodo

➤ Azioni nell'azienda farmaceutica A

L'azienda ha predisposto un programma di efficientamento che comprende una serie di azioni da realizzare nel prossimo biennio di gestione. Nell'elenco sottostante, si riporta il dettaglio degli interventi programmati:

- Installare, per ogni compressore, uno strumento di controllo del consumo elettrico e della portata erogata. Come visto, le misure in continuo portano ad un risparmio energetico rispetto all'analisi dei consumi effettuata mediante calcolo;
- abbassare la pressione di set point, così da ridurre notevolmente il consumo per la produzione di aria compressa, mantenendo inalterate le prestazioni delle apparecchiature che impiegano aria compressa, ovviamente, l'abbassamento è contenuto nel range che esclude i rischi di causare malfunzionamenti e/o blocchi delle apparecchiature;
- valutare le perdite di carico a fine linea, così da verificare il dimensionamento corretto delle varie linee, in modo da prevedere una variazione ottimale della configurazione in presenza di eccessive perdite;
- valutare le perdite di aria effettuando prove a vuoto del sistema e prevedere eventuali interventi di manutenzione.

➤ Azioni nell'azienda farmaceutica B

Le raccomandazioni e osservazioni che riguardano gli impianti di aria compressa, in particolare, la loro gestione sono succintamente riportate nell'elenco sottostante.

- Poiché, il sistema è formato da molte unità di produzione, che lavorano contemporaneamente, potrebbe essere opportuno prevedere l'installazione di un sistema di misurazione della portata e dei consumi elettrici, per ogni compressore. Tale installazione renderebbe semplice l'analisi dei consumi e faciliterebbe il processo di riduzione degli stessi. Nel caso in cui le installazioni siano troppo costose o tecnicamente difficili, si potrebbe pensare di utilizzare provvisoriamente dei misuratori portatili così da poter delineare almeno il quadro della situazione.
- Inoltre, considerando la divisione dell'impianto in due sezioni, che necessitano di pressioni di alimentazione differenti, l'azienda dovrebbe misurare e/o stimare il quantitativo di aria compressa utilizzata per ciascun livello di pressione. In modo, da valutare la possibilità tecnico economica di modificare il sistema e/o di far lavorare i vari compressori a pressioni differenti.
- Infine, è necessario riorganizzare una campagna di misure delle perdite, anche alla luce delle modifiche apportate all'impianto nel corso degli anni, poiché l'ultima campagna di analisi è stata effettuata molti anni fa.

➤ Azioni nell'azienda cartiera

Gli eventuali interventi, come nei casi precedenti, dovrebbero riguardare le situazioni sotto elencate.

- I tratti di rete di distribuzione soggetti in passato a modifiche, dovrebbero essere revisionati nella lunghezza e nel diametro. Si ribadisce che, una rete mal progettata comporta perdite di carico che, invece, potrebbero essere facilmente evitabili.
- Programmazione di una campagna di ricerca delle perdite di aria compressa nella linea, attraverso la rilevazione con strumenti ad ultrasuoni. Si evidenzia, che le perdite di aria sono la più importante causa di spreco di energia.
- Analisi della perdita di carico a fine linea, soprattutto, per quei tratti che sono stati modificati e hanno subito un ulteriore sviluppo.
- Analisi e programmazione del sezionamento della rete in più tratti, in modo da poter escludere alcuni i rami che temporaneamente non vengono utilizzati.

➤ Azioni - azienda del settore alimentare

Le osservazioni riguardano le best practices dei sistemi e possono essere fatte sia per quanto riguarda gli impianti che per quanto riguarda la gestione degli stessi. In particolare, l'installazione di una nuova confezionatrice ha richiesto l'innalzamento della pressione di set point per permettere il buon funzionamento della stessa. L'inserimento di un sistema di innalzamento della pressione locale a monte della macchina, che funzionerà a pressione maggiore, potrebbe permettere di risparmiare l'energia che verrebbe spesa per innalzare, inutilmente, la pressione di tutto il sistema.

➤ Azioni nell'azienda del settore della plastica

Per le caratteristiche dell'impianto di CAS al servizio dell'azienda, si ipotizza come intervento principale:

- L'installazione di un sistema di misura delle portate può favorire il controllo dei consumi e l'individuazione di malfunzionamenti e perdite di aria compressa.

Le misure continue e periodiche consentono di avere un quadro della situazione migliore di quello delineato attraverso l'analisi dei consumi calcolata e/o derivata da altre tipologie di misure.

3 Riferimenti bibliografici

- [1] Carbon Trust, "CTG054 – Energy Management – A comprehensive guide to controlling energy use," 2011.
- [2] European Commission, "Reference document on best available techniques for energy efficiency," no. February, 2009.
- [3] M. Benedetti, I. Bertini, F. Bonfà, S. Ferrari, D. Santino, and S. Ubertini, "Assessing and improving Compressed Air Systems ' energy efficiency in production and use : findings from an explorative study in large and energy-intensive industrial firms," vol. 0, 2016.
- [4] K. Bunse, M. Vodicka, P. Schönsleben, M. Brühlhart, and F. O. Ernst, "Integrating energy efficiency performance in production management - gap analysis between industrial needs and scientific literature," *J. Clean. Prod.*, vol. 19, no. 6–7, 2011.
- [5] Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, "AIRMaster+," 2014. [Online]. Available: <https://www.energy.gov/eere/amo/articles/airmaster>.
- [6] P. Pondrano, N. Anglani, and G. Petrecca, "SIMULATION , PLANNING AND CONTROL OF A CENTRAL COMPRESSED AIR PLANT FOR A MORE EFFICIENT ENERGY USE," 2001.
- [7] R. Saidur, N. A. Rahim, and M. Hasanuzzaman, "A review on compressed-air energy use and energy savings," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 4, 2010.
- [8] R. Dindorf, "Estimating Potential Energy Savings in Compressed Air Systems," *Procedia Eng.*, vol. 39, 2012.
- [9] Q. Hongbo and A. McKane, "Improving energy efficiency of compressed air system based on system audit, "Lawrence Berkeley National Laboratory," vol. 6, no. 13, 2008.
- [10] Compressed Air Challenge, "Introduction to best practices for compressed air systems."
- [11] C. de indústrias químicas européias CEFIC, "Il Manuale Delle Migliori Prassi Per L ' Efficienza Energetica," *Energy*, 2010.
- [12] S. Mousavi, S. Kara, and B. Kornfeld, "Energy efficiency of compressed air systems," *Procedia CIRP*, vol. 15, 2014.
- [13] Sustainability Victoria, "Energy Efficiency. Best Practice Guide. Compressed Air Systems," 2009.
- [14] Atlas Copco, *Atlas Copco Compressed Air Manual*. 2010.