



Ricerca di Sistema elettrico

Efficienza energetica nella produzione e uso dell'aria compressa nell'attuale sistema industriale

Francesca Bonfà, Ilaria Bertini, Anna Salama

Report RdS/ PAR2016/105

EFFICIENZA ENERGETICA NELLA PRODUZIONE E USO INDUSTRIALE DELL'ARIA COMPRESSA

Francesca Bonfà, Ilaria Bertini, Anna Salama (ENEA)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

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

Progetto: "Processi e macchinari industriali"

Obiettivo: B3 "Efficienza energetica nella produzione e uso industriale dell'aria compressa"

Responsabile del Progetto: Ing. Ilaria Bertini, ENEA

Ilaria Bertini

Indice

| | |
|---|----|
| SOMMARIO..... | 4 |
| INTRODUZIONE..... | 4 |
| FASE 1 | 5 |
| 1 STATO ENERGETICO ATTUALE DEI CAS'S | 5 |
| 1.1 ANALISI DEI CONSUMI DI ARIA COMPRESSA SETTORI INDUSTRIALI..... | 5 |
| 1.2 RELAZIONE TRA LA MODALITÀ DI MISURA E IL CONSUMO DI ENERGIA..... | 7 |
| 2 LIVELLO DEGLI INQUINANTI DELL'ARIA..... | 8 |
| 2.1 CONDIZIONI E METODI DI TRATTAMENTO DELL'ARIA COMPRESSA..... | 9 |
| 2.2 METODI DI REGOLAZIONE | 11 |
| 2.3 PARAMETRI DI FUNZIONAMENTO PER LA RIDUZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI NEI COMPRESSORI..... | 12 |
| 2.4 LA QUALITÀ DELL'ARIA COMPRESSA NEI SETTORI INDUSTRIALI | 13 |
| 2.4.1 <i>Caratterizzazione operative delle applicazioni nei settori industriali</i> | 13 |
| 3 ANALISI DELLE BEST PRACTICES | 15 |
| 3.1 LA STRUTTURA DEL QUESTIONARIO | 17 |
| 3.2 IL CAMPIONE DI DATI DELL'INDAGINE | 19 |
| FASE 2 | 20 |
| 4 CAMPAGNA DI ANALISI | 20 |
| 4.1 ANALISI DEI LIVELLI ATTUALI..... | 22 |
| 4.1.1 <i>Profilo dimensionale</i> | 23 |
| 4.1.2 <i>Profilo funzionale</i> | 30 |
| 4.2 PROFILO GESTIONALE | 40 |
| 5 VALUTAZIONE DEI LIVELLI E PREVISIONI FUTURE | 52 |
| 6 CONCLUSIONI..... | 59 |
| BIBLIOGRAFIA | 59 |
| APPENDICE A | 60 |
| APPENDICE B..... | 63 |

Sommario

Il presente lavoro riguarda l'individuazione, a partire dall'assetto delle aziende, delle azioni di efficientamento energetico dei processi di produzione e di impiego dell'aria compressa.

L'attività, nella sua prima fase di sviluppo, ha riguardato la scelta delle aziende del campione per l'analisi dello stato energetico effettivo, sia in termini di consumi e sia in termini di condizioni funzionali, gestionali e dimensionali. A partire dalla mappatura energetica dei consumi di aria compressa, effettuata per i 9 settori dell'industria italiana, realizzata nella precedente attività (PAR2015), il campione di aziende da analizzare è formato da quelle che presentano un consumo di energia elettrica per l'aria compressa > del 5% del consumo totale. Dall'analisi delle fasi di produzione e delle Best Practices dei CASs sono stati individuati i quesiti da proporre al campione scelto. In particolare, è stato sviluppato un questionario di 12 domande raggruppate secondo tre profili di aggregazione: profilo dimensionale, profilo funzionale e profilo gestionale. Nel lavoro sono state analizzate le risposte alle domande mediante quattro indicatori di livello, in base ai quali sono state valutate le condizioni delle aziende in ogni settore e l'incidenza del settore nell'area industriale.

Tra gli obiettivi raggiunti in quest'annualità, rientra la valutazione dello stato delle aziende grazie al quale sarà possibile individuare le grandezze da esaminare direttamente e analiticamente nel sito industriale. Dall'indagine risulta che lo stato di effettivo dei CASs nell'industria italiana presenta un livello qualitativo medio-basso sia per quanto riguarda gli aspetti dimensionali e sia per quelli funzionali-gestionali.

Introduzione

L'attività di ricerca è stata sviluppata con l'obiettivo di individuare lo stato energetico attuale dei sistemi di produzione e di utilizzazione dei siti, che impiegano aria compressa (CASs).

Il lavoro si basa su un duplice aspetto, ovvero, individuare il livello di efficienza energetica dei CASs e definire le Best Practices più congrue al tessuto industriale italiano. Pertanto, da una parte sono state analizzate le condizioni attuali dei CASs dall'altra, invece, sono stati individuati i nodi fondamentali costituenti il processo di produzione e di utilizzazione dell'aria compressa.

Pertanto, inizialmente, sono state analizzate le fasi del processo di produzione al fine di individuare le migliori condizioni, in termini di prestazioni, per esercire gli impianti CASs, poiché si reputa che solo attraverso l'ottimizzazione delle condizioni e dei parametri di funzionamento, potranno essere individuate le best practices per incrementare l'efficienza energetica dei CASs.

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

Fase 1

- Stato energetico attuale dei CASs
- Trasformazione dell'aria, regolazione del processo di produzione
- Best practices per l'aria compressa
- Questionario da somministrare alle aziende

Fase 2

- Scelta del campione (consumi energetici e i parametri di rilevazione)
- Divisione delle classi in base al livello crescente, orizzontale e verticale.
- Risultati

FASE 1

1 Stato energetico attuale dei CAS's

A partire dal set di indicatori definiti nella precedente annualità [1], sono stati rielaborati i dati di consumo, avendo ricevuto dalle aziende coinvolte nel meccanismo del d.Lgs 102/2015, gli aggiornamenti richiesti. La scelta del campione di aziende da intervistare è stata molto complessa, poiché è stato necessario definire un criterio univoco, per individuare e correlare le discordanze emerse nella fase di campionatura.

Si evidenzia, ancora una volta , la notevole collaborazione ricevuta dalle aziende!!!

Dalle elaborazioni effettuate, a partire dai risultati sui consumi e sugli indicatori energetici, per i macro settori esaminati [metallurgia, fabbricazione di prodotti chimici, fabbricazione di prodotti farmaceutici di base e di preparati farmaceutici, fabbricazione di prodotti in metallo (esclusi macchinari e attrezzature), fabbricazione di autoveicoli, rimorchi e semirimorchi, fabbricazione di articoli in materie plastiche, industrie tessili, industrie alimentari e fabbricazione di carta e prodotti di carta] è emerso che il settore dell'aria compressa incide per circa il 10 % sul totale di energia elettrica consumata dai settori considerati.

1.1 Analisi dei consumi di aria compressa settori industriali

Al fine di assicurare la necessaria omogeneità, è stato indispensabile discretizzare i dati e standardizzarli rispetto, al parametro in uscita, specifico dell'attività produttiva all'interno del settore. L'elaborazione ha portato alla realizzazione di un DATABASE contenente per ogni attività lavorativa e per ogni sito di produzione, i consumi di energia elettrica totali e specifici [1]. Tra i record del DATABASE ENEA si ritiene indicativo rappresentare, come mostra la Figura 1.1, il consumo di energia elettrica totale calcolabile per tutti i settori.

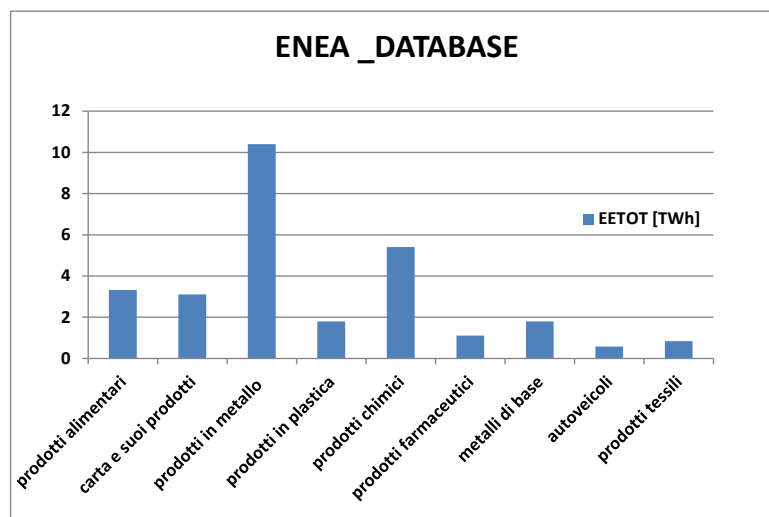


Figura 1.1. Consumo di energia elettrica di ogni settore dai dati di ENEA

Dai dati globali (ETOT) calcolati per ogni settore, sono stati ricavati quelli parziali e specifici per l'aria compressa, dopo aver unificato mediante una corretta corrispondenza, i valori e le unità di misura. Nella Figura 1.2, si riporta il consumo di aria compressa sul totale elettrico del settore.

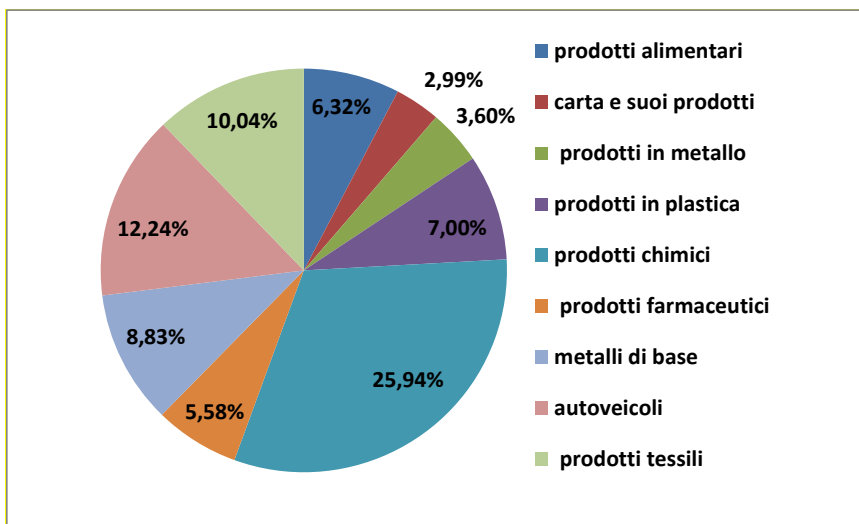


Figura 1.2. Incidenza consumo aria compressa sul totale elettrico del settore

Come si evince dalla Figura 1.2, dall’indagine risulta che il consumo di energia dei CAS’s è compreso negli intervalli variabili dal 3% al 13%, con un valore medio di 7 % tra i diversi settori, ad eccezione del valore **significativo** del settore prodotti chimici (25,94 %). Dalla discretizzazione dei dati di consumo del singolo settore si è passati alla valutazione del consumo del settore sul valore totale di energia elettrica nazionale. Nella Figura 1.3 si riporta l’incidenza del consumo energia elettrica “specifico” rispetto al corrispondente consumo totale nazionale complessivo.

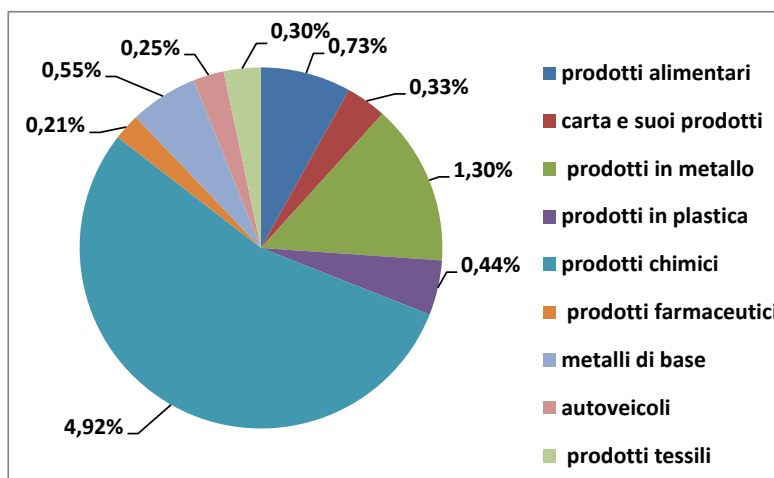


Figura 1.3. Incidenza consumo aria compressa sul totale elettrico industriale nazionale

L’indagine condotta, in modo capillare, ha permesso di individuare le azioni e i dati da somministrare alle aziende per individuare gli interventi di efficientamento energetico idonei e adatti al singolo settore. Il kWhe CAS/ kWhe TOT è un indicatore efficace pur essendo, ancora oggi, scarsa l’attenzione alla gestione energetica negli impianti industriali italiani. Si conclude che, lo sviluppo di sistemi di misura di energia dovrebbe essere considerato una priorità, da cui cominciare a individuare le azioni di efficientamento per il settore dell’aria compressa. Di fatto la regolazione, la misurazione dell’energia e il controllo, sono ancora raramente applicati anche in sistemi ad alta intensità energetica e per tale ragioni possono essere considerate, tra le azioni di efficientamento energetico da intraprendere per il miglioramento globale.

1.2 Relazione tra la modalità di misura e il consumo di energia

Con l'obiettivo di affinare i dati disponibili per migliorarne la qualità, in termini di affidabilità, e per definire le procedure di intervento, le analisi delle modalità e dei sistemi di misura sono state determinanti per individuare i quesiti da proporre alle aziende. La modalità di misura è importante, sia per valutare gli interventi orientati verso una gestione razionale dei sistemi di produzione dell'aria compressa e sia per verificare la congruità dei dati a confronto.

I dati messi a disposizione dalle aziende, sono stati processati in base al tipo e al metodo di misura, in modo da ricavare in base all'unità di misura fornita, il valore prossimo all'effettivo consumo. Per le aziende che non hanno fornito l'unità di misura, il consumo è stato indicato nella trattazione e nei grafici con "n.d.". Nelle Figura 1.4, Figura 1.5 e Figura 1.6 sono rappresentati i consumi di energia elettrica totali e quella relativa all'aria compressa in relazione alla modalità di misura.

Le tipologie di misura considerate sono due:

- la modalità di misura in continuo, che rappresenta la misura rilevata durante il funzionamento;
- la modalità di misura calcolata che rappresenta la misura stimata attraverso metodi vari.

Dall'analisi dei dati emerge, prima di tutto, la bassa percentuale di sistemi di misura in continuo dell'aria compressa prodotta, nonostante l'alto costo dell'energia relativa alla produzione della stessa. Vista l'incidenza del consumo elettrico per l'aria compressa sul valore di consumo elettrico nazionale, attraverso l'ottimizzazione dello stesso, sarà possibile ridurre il costo della bolletta elettrica dell'utente finale.

Al fine di comprendere e individuare le azioni per migliorare il processo di produzione e impiego dell'aria compressa sono state valutate tutte le operazioni e le variabili che intervengono nella fase di trasformazione dell'aria standard in aria compressa. Solo valutando le singole operazioni sarà possibile determinare il livello energetico attuale dell'industria italiana che usa l'aria compressa. Pertanto, con l'obiettivo di identificare le corrette azioni di efficientamento energetico occorre considerare le condizioni termo-fisiche delle fasi di trasformazione e di funzionamento dei componenti.

L'indagine effettuata ha messo in evidenza che risulta fondamentale ottimizzare la gestione delle fasi di trattamento, della regolazione e del controllo. Al fine di individuare le corrispondenti best practices, si illustrano di seguito le azioni che vengono effettuate nella pratica e gli effetti energetici corrispondenti.

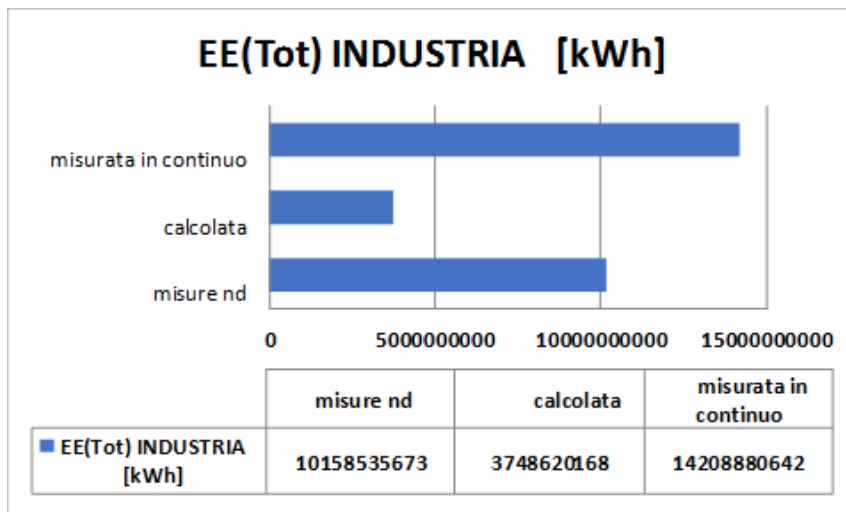


Figura 1.4. Consumo di energia elettrica Tot in base alla modalità di misura

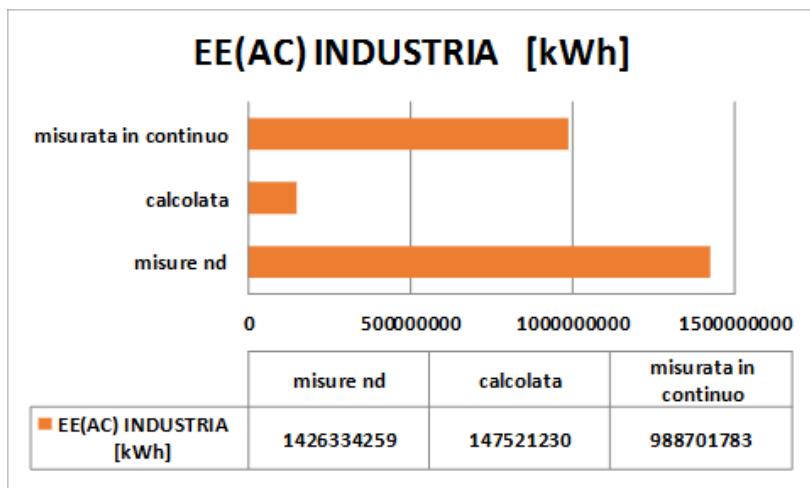


Figura 1.5. Consumo di energia elettrica AC in base al modalità di misura

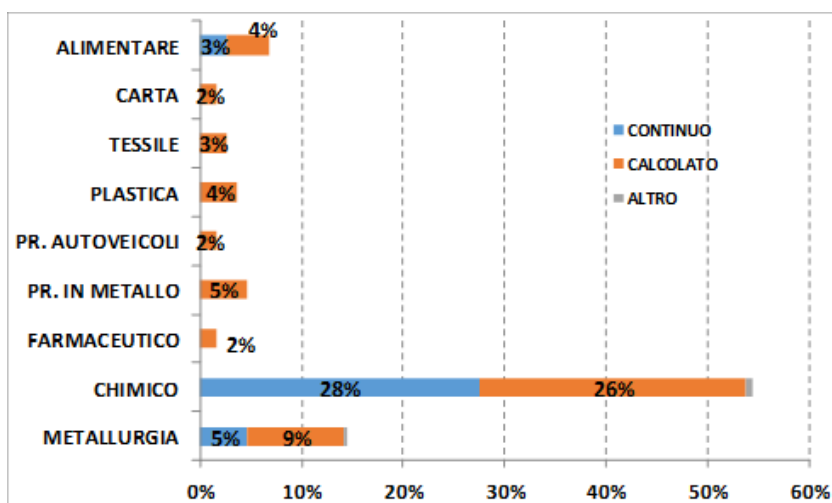


Figura 1.6. Ripartizione percentuale dell'energia elettrica AC in base alla modalità di misura

2 Livello degli inquinanti dell'aria

Nelle applicazioni industriali, 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. Questo accade, poiché, l'aria compressa può contenere sostanze indesiderate, come la polvere, l'acqua sotto forma di gocce o di vapore, olio sotto forma di gocce e aerosol.

Pertanto, è fondamentale pianificare preliminarmente, le singole operazioni costituenti il processo a cui l'aria compressa è destinata, in modo da definire il livello di tollerabilità della presenza di inquinanti (non saranno tollerabili nei casi in cui l'aria verrà a contatto diretto con il prodotto così come non sarà possibile tollerare la presenza di tracce di olio in sospensione nell'ambiente di lavoro)[2],[3].

L'aria compressa si ottiene dall'aria atmosferica, che nelle condizioni ambientali contiene vapore acqueo, e può causare quindi una serie di effetti indesiderati come la caduta delle prestazioni degli strumenti e delle macchine, impiegati nei processi industriali. Tutto ciò può alterare i costi di manutenzione, nonché la quantità degli scarti prodotti (ad es. nelle lavorazioni di verniciatura e di stampaggio della plastica).

Si origina così, la necessità di eliminare l'acqua (umidità). A tal fine, le tecniche e gli strumenti utilizzati sono diversi [2]. Generalmente, si impiegano: post-refrigeratori, separatori di condensa, essiccatori a refrigerante ed essiccatori ad adsorbimento.

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 compressore (potenza, pressione, temperatura,

rapporto di compressione). Inoltre, nel caso di impiego di compressori lubrificati, oltre al vapore acqueo, nell'aria compressa possono esserci delle tracce di olio.

Tuttavia nei moderni compressori lubrificati, a vite e a pistoni, la quantità d'olio è molto limitata, soprattutto se vengono utilizzati dei filtri multistadio. Contrariamente alla presenza di olio, che dipende dal tipo di compressore, si evidenzia che la presenza di umidità e di eventuali microrganismi dipendono dalle condizioni ambientali e dallo stato delle condotte della rete di distribuzione dell'aria.

In genere, le particelle presenti nell'aria compressa hanno dimensioni dell'ordine del μm , pertanto, riescono ad attraversare il filtro posto all'ingresso del compressore e a diffondersi nei canali, dove in presenza di depositi di olio e acqua possono favorire la crescita di microrganismi. In questo caso, una soluzione potrebbe essere rappresentata dalla presenza di un filtro posto a valle del compressore. Tuttavia, il filtro non definisce la purezza dell'aria, poiché può verificarsi lo sviluppo dei microrganismi (batteri, virus) nelle pareti dei filtri, che rappresenta un problema oneroso e difficile da risolvere. In numerosi processi industriali, la crescita è favorita da un tenore elevato di umidità dell'aria e dalla presenza di sostanze e/o olio, che rappresentano un nutrimento per questi microrganismi. Tra gli interventi frequentemente adottati e facilmente programmabili, si ritiene efficace abbassare l'umidità relativa intorno al 40% effettuando un trattamento di essiccazione e operare la sterilizzazione a vapore per controllarne la purezza del filtro e dell'ambiente dove esso è alloggiato.

2.1 Condizioni e metodi di trattamento dell'aria compressa

Nella fase iniziale di sviluppo del lavoro, è stata effettuata un'attenta valutazione dell'incidenza delle condizioni termofisiche dell'aria atmosferica sulla quantità di vapore acqueo (umidità) contenuta. È nota la dipendenza dalla temperatura, di fatto, l'umidità aumenta all'aumentare della temperatura e diminuisce con essa.

Durante la fase di compressione dell'aria si ha un aumento del vapore acqueo, che dipende dalla pressione di compressione, dalla sua temperatura e dalla U% (umidità relativa). L'acqua prodotta viene scaricata nella linea dell'aria compressa, e deve essere eliminata, poiché l'ingresso nei tubi e nell'apparecchiature di collegamento causa dei problemi. Pertanto, essa deve essere essiccata e raffreddata tramite un post-refrigeratore e un essiccatore.

Il contenuto d'acqua nell'aria compressa è legato al "punto di rugiada", che corrisponde alla temperatura di condensazione del vapore acqueo alla pressione di esercizio corrente che, ovviamente, è diverso dal punto di rugiada atmosferico TR (ad es. un punto di rugiada a 7 bar di +2 °C, alla pressione atmosferica equivale a -23 °C).

Le condizioni iniziali dell'aria e le modalità impiegate, per eliminare l'umidità, devono essere attentamente valutate, ad esempio nel trattamento dell'aria mediante un filtro un raffreddamento provoca la precipitazione continua dell'acqua di condensa. Le tecniche impiegate per eliminare l'umidità dall'aria compressa sono diverse e la scelta dovrà essere effettuata in funzione del punto di rugiada, le più diffuse sono: raffreddamento e separazione, sovracompressione, essiccazione a membrana, essiccazione ad assorbimento e ad adsorbimento.

Nella Figura 2.1 è rappresentata la linea di trasformazione della tecnica raffreddamento- separazione.

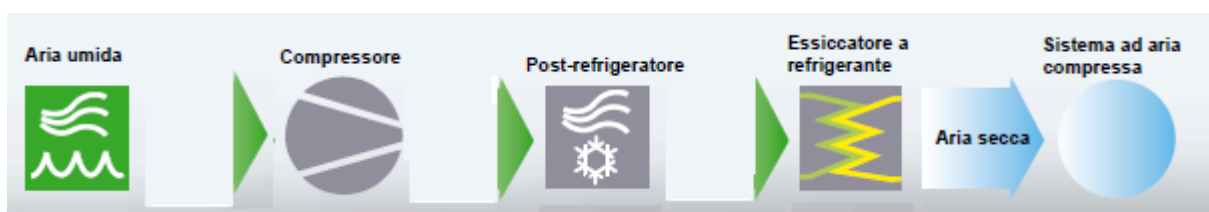


Figura 2.1.. Linea di flusso del raffreddamento-separazione dell'aria compressa

In questo caso, l'aria calda compressa viene raffreddata in un post-refrigeratore in modo da provocarne la precipitazione dell'acqua, evitando così la sua condensazione nelle tubazioni. Il post-refrigeratore deve essere collocato in prossimità del compressore. Lo scambiatore di calore può essere ad acqua o ad aria ed è dotato di separatore d'acqua con scarico automatico, la temperatura dell'aria compressa all'uscita del post-refrigeratore dovrebbe attestarsi, intorno a circa 10° C in più della temperatura del refrigerante, variabile a seconda del tipo di refrigeratore. Il post-refrigeratore è presente in tutti gli impianti fissi, mentre, è integrato nei moderni compressori.

Terminata questa fase, si ha l'essiccazione a refrigerante dove l'aria compressa viene raffreddata, separando l'acqua di condensa, e successivamente riscaldata a temperatura ambiente evitando così la formazione di condensa all'esterno dei tubi. Lo scambio termico, tra l'aria compressa in ingresso e quella in uscita, abbassa la temperatura dell'aria compressa e conseguentemente la capacità di raffreddamento del circuito refrigerante che è di tipo chiuso. Il limite inferiore degli essiccatori a refrigerante è rappresentato dal punto di congelamento dell'acqua condensata, generalmente, sono impiegati per punti di rugiada compresi tra +2 e +10 °C.

Un metodo più semplice per essiccare l'aria compressa è la sovracompressione, tuttavia, i consumi energetici elevati rendono questo metodo adatto solo per portate d'aria molto limitate.

Un'altra tecnica è l'essiccazione ad assorbimento, poco applicata per diverse ragioni. Innanzitutto, si tratta di un processo chimico con cui il vapore acqueo viene legato a un materiale assorbente che consente di abbassare limitatamente il punto di rugiada. Tale tecnica è costosa sia per il consumo dei materiali assorbenti e sia per gli effetti nocivi che possono verificarsi per alcuni di essi (ad es. usando cloruro di sodio e acido solforico si possono avere problemi di corrosione). Questo metodo non è di utilizzo comune e implica un elevato consumo di materiali assorbenti.

Un'altra modalità di essiccazione è l'essiccazione ad adsorbimento, l'aria umida passa su un materiale igroscopico detto "essiccante" (ad es. gel di silice) e diviene secca grazie, allo scambio di vapore acqueo dall'aria compressa umida con il materiale igroscopico, che deve essere rigenerato regolarmente. Questi essiccatori sono adatti ad applicazioni molto spinte, poiché sono in grado di produrre aria molto secca, ovvero, arrivare a un punto di rugiada di - 40 °C.

In base alle modalità di rigenerazione dell'essiccante, anche se più efficienti energeticamente ma più complessi, distinguiamo: gli essiccatori ad adsorbimento rigenerati a scarico detti "essiccatori a freddo", gli essiccatori rigenerati a scarico detti essiccatori a caldo, gli essiccatori rigenerati a soffiante e gli essiccatori a calore di compressione. Rispetto agli essiccatori a freddo, quelli a caldo richiedono il 25% in meno di energia, quelli a soffiante richiedono il 40% in meno di energia e infine quelli a compressione riescono a raggiungere una temperatura di rugiada fino a - 20 °C senza richiedere nessuna addizione di energia, poiché il rigenerante viene rigenerato dallo stesso calore dell'aria compressa che non verrà trattata nel post refrigeratore.

Infine, si ricorda l'essiccatore a membrana. Esso è un cilindro costituito da numerose fibre polimeriche cave, a permeabilità selettiva, il cui funzionamento si basa sul processo di permeazione selettiva dei componenti gassosi dell'aria, in base al quale si ha una rimozione efficace del vapore d'acqua. Gli essiccatori a membrana sono semplici da utilizzare, consumano poco e richiedono poca manutenzione.

Infine si conclude, con un breve cenno ai filtri, la cui efficienza aumenta al diminuire delle dimensioni delle fibre filtranti. Per particelle di dimensioni > a 1 mm la raccolta sul materiale filtrante è di tipo meccanico, mentre, per quelle < di 1 mm si depositano sul materiale filtrante tramite i seguenti meccanismi fisici: impatto inerziale, intercettazione e diffusione.

L'efficienza della cattura di un filtro a coalescenza, dipende anche dalle dimensioni delle particelle con cui avviene ogni meccanismo fisico. Per quanto riguarda, l'olio e l'acqua in forma di aerosol si comportano in modo simile ad altre particelle e possono essere separati anche utilizzando un filtro a coalescenza. In questo tipo di filtro, gli aerosol liquidi si uniscono in gocce più grandi che vengono attratte, dalla forza gravitazionale, sul fondo del filtro.

Il filtro può separare l'olio, sotto forma di liquido o aerosol, si evidenzia che a causa dei trafiletti, nel primo caso, si ha una notevole caduta della pressione. Il processo di filtraggio determina, inevitabilmente,

una caduta di pressione. La perdita di energia aumenta con i filtri più fini con una struttura più compatta, poiché hanno dei costi di manutenzione più elevati, a causa di possibili fenomeni di intasamento. I moderni filtri a fibre sono molto efficienti nell'eliminazione dell'olio; ciò nonostante, è difficile controllare con precisione la quantità d'olio rimanente nell'aria dopo la filtrazione, in quanto la temperatura, assieme ad altri fattori, influisce notevolmente sul processo di separazione. L'efficienza dei filtri è ridotta anche dalla concentrazione dell'olio nell'aria compressa e dalla quantità di acqua libera, le variazioni della temperatura influiscono sulla capacità di separazione dei filtri. L'aria deve essere più secca possibile per ottenere i risultati migliori, ovvero, l'efficienza maggiore.

2.2 Metodi di regolazione

La regolazione del flusso dell'aria compressa viene effettuata per mantenere, nel circuito dell'aria, una pressione costante. I modi per effettuare la regolazione dipendono dal tipo di compressore, dalle variazioni della pressione, dalle variazioni della portata d'aria e dall'entità delle perdite energetiche. Poiché le condizioni di esercizio possono essere differenti dalle condizioni nominali, nella maggior parte dei casi si ha una regolazione di tipo automatica, dove al variare delle richieste di pressione o di portata, il compressore si stabilizzerà nella condizione di funzionamento corrispondente alla variazione della richiesta. Ad es. nel caso di un aumento della pressione la corrispondente condizione di regolazione, implicherà l'aumento della portata. I modi per regolare la portata sono principalmente la regolazione costante della portata, che viene effettuata mediante il controllo del motore o della valvola di ingresso, e 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. Originariamente, si utilizzavano le valvole caricate a molla, mentre oggi sono diffuse le servovalvole che sono controllate da un regolatore. 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.

Il controllo dei compressori, di potenza <10 kW, viene effettuato mediante l'arresto del motore elettrico quando la pressione raggiunge il limite massimo, mentre viene riavviato il compressore quando la pressione risulta inferiore al limite minimo. Tale metodo di regolazione è efficace, e energeticamente efficiente, purché sia possibile limitare il numero di riavvii.

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.

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, 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.

Infine, per i compressori a pistoni la regolazione avviene realizzando l'apertura meccanica delle valvole all'aspirazione, in modo da realizzare lo scarico dalla stessa valvola. Per i compressori a pistoni a doppia azione viene effettuato lo scarico in più stadi, ovvero, scaricando un cilindro alla volta. In questo modo si ottiene un migliore equilibrio tra la portata e la domanda richiesta. Solitamente nei compressori viene effettuato un controllo continuo della portata, mediante, l'apertura della valvola d'ingresso in base alla minore o maggiore lunghezza utile che si ha durante la corsa del pistone.

Anche se insolito, viene adoperato nei compressori industriali, in pratica consente l'apertura della valvola di ingresso durante un tratto più lungo o più breve della corsa del pistone, per il controllo continuo della portata. Per concludere l'analisi dei metodi di regolazione, passiamo ai compressori dinamici, per i quali si attuano i principi alla base dei metodi di regolazione dei compressori volumetrici, prima elencati, ma sono sostanzialmente diverse essendo costituzionalmente diversi. A partire 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. Altro metodo di regolazione riguarda l'impiego di turbine da applicare all'ingresso o all'uscita.

Per la regolazione con turbine di guida dell'ingresso, rispetto al precedente, permette di avere un maggiore range di regolazione (compresa tra il 50% e il 70% della portata di progetto) con minori consumi energetici. In pratica, vengono disposte delle turbine con le pale radiali che causano la rotazione del fluido in ingresso con il flusso strozzato. Invece, con la disposizione delle turbine di guida dell'uscita si attua la regolazione, mediante, il controllo del flusso nel diffusore del compressore. 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 o delle turbine di guida all'uscita, per i flussi inferiori al limite di inversione. Il sistema di regolazione chiude completamente la valvola di ingresso mentre l'uscita del compressore scarica.

2.3 Parametri di funzionamento per la riduzione dei consumi energetici nei compressori

Per il funzionamento ottimale della rete di aria compressa occorre valutare i parametri di esercizio, in funzione della domanda di aria richiesta dalla rete stessa e dell'andamento energetico della produzione [4], [5]. Solo attraverso una razionale corrispondenza della loro contemporaneità, si potranno ottenere dei livelli di efficienza energetica adeguati alle condizioni di carico. Pertanto, per la valorizzazione e l'uso razionale dell'energia è necessario effettuare in primis, per tutti i compressori, le seguenti misure:

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

La conoscenza dei parametri e delle condizioni, sopra elencati, sono determinanti per definire il livello energetico di partenza e per pianificare idonei interventi di miglioramento dello stesso.

Tra le grandezze da valutare puntualmente, mediante misure in continuo, a stretti intervalli temporali è la portata. In mancanza di misurazioni dirette, la portata può essere dedotta dagli assorbimenti elettrici mediante misure di intensità di corrente.

Dal confronto della portata, effettiva o calcolata, con i consumi rilevati da operazioni di monitoraggio o attraverso simulazioni energetiche, si possono dedurre le eventuali perdite energetiche nella rete di distribuzione. Quindi, nota la situazione energetica, si possono tracciare le traiettorie di miglioramento, assumendo come direttrici, gli interventi di risparmio e/o recupero energetico. Così da introdurre tecniche e tecnologie, che consentiranno di ottenere la convenienza economica attesa.

In tale ambito, si stima che le prestazioni degli impianti di produzione di aria compressa esistenti possono raggiungere dei miglioramenti compresi fra [10 %÷ 40%], mediante interventi di diversa natura e entità.

Le problematiche da affrontare possono essere di tipo gestionale (perdite nella rete e usi impropri), tecnologico (macchine a bassa efficienza, erroneo dimensionamento del gruppo compressore-motore) e funzionale (a carico parziale anziché a pieno carico oppure produzione di aria compressa a pressioni più elevate di quelle richieste).

Tra le principali operazioni, direttamente correlate alla valorizzazione energetica, si distinguono:

1. per il risparmio energetico l'impiego di compressori a giri variabili;
2. per il recupero del calore l'impiego di scambiatori di calore. Il calore generato nella fase di funzionamento di un compressore, può essere direttamente utilizzato dagli essiccatori nel processo oppure essere utilizzato 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 l'impiego di aria più fredda. L'energia per la compressione dell'aria aumenta con la temperatura della stessa. Si stima un risparmio del 1% di energia ogni qual volta si abbassa di circa 3° la temperatura.
4. per ottimizzare la produzione la parzializzazione della rete di distribuzione in sotto-reti. La parzializzazione consente di utilizzare e di produrre la portata richiesta a livelli differenti di pressione. Si stima un risparmio energetico che va dal 10% al 25%. presenti utenze che lavorino a pressione minore e che assorbano una quota di portata d'aria non trascurabile rispetto alla richiesta a pressione elevata.

2.4 La qualità dell'aria compressa nei settori industriali

L'obiettivo principe dell'attività di ricerca del presente lavoro, riguarda sia l'aumento dell'efficienza energetica [6] di produzione e/o utilizzazione e sia l'esigenza di fornitura di aria di migliore qualità (ad es. priva di olio) e rispondente a standard di qualità sempre più rigorosi, a seconda della applicazione settoriale. A riguardo si elencano per i settori esaminati le caratteristiche da rispettare nella produzione e fornitura dell'aria compressa, utilizzata in molti dei processi produttivi.

2.4.1 Caratterizzazione operative delle applicazioni nei settori industriali

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, nell'elenco sottostante si richiamano quelle più diffuse.

Applicazioni generali:

- gestione e riciclaggio degli scarti industriali, l'aria compressa viene utilizzata per la selezione automatica degli stessi;
- realizzazione di soluzioni mobili ad aria compressa per attrezzature per la trivellazione e l'edilizia;
- alimentazione destinata alla propulsione di servizi ausiliari di impianti e di pulizia di stabilimenti;
- fornitura d'aria per alimentare circuiti pneumatici per l'estrazione di materiali e inerti (ad es. dalle cave).

Tra le applicazioni "particolari" si menzionano:

- l'alimentazione di soluzioni mobili ad aria compressa utilizzati anche nell'edilizia sottomarina per creare barriere protettive di bolle d'aria allo scopo di assorbire e riflettere le onde sonore;
- l'alimentazione di giochi d'acqua in grado di raggiungere 150 metri d'altezza;
- movimentazione dei carichi in questo caso l'aria compressa viene utilizzata per alimentare i pattini ad aria per lo spostamento regolare di carichi pesanti negli studi cinematografici.

Settore alimentare

La tutela dell'integrità dei prodotti e dei processi produttivi si basano e devono rispondere a norme di qualità molto rigorose. La qualità dell'aria impiegata in questo settore è molto stringente poiché anche una minima di traccia d'olio può alterare o contaminare interi lotti mettendo a rischio la salute dei consumatori. Pertanto, al fine di garantire l'applicazione corretta delle procedure l'Organizzazione internazionale per la normazione (ISO) ha definito il livello di qualità dell'aria di Classe 0. Detta classe è la più rigorosa in materia di qualità dell'aria, poiché limita la presenza di olio inquinante nei liquidi, negli aerosol e nei vapori. Nel settore degli alimenti e delle bevande distinguiamo due categorie di impiego relative alla *movimentazione* dei prodotti e al riempimento mediante *macchine riempitrici* alimentari. Tali applicazioni riguardano:

- lo spostamento dei prodotti ad alta velocità lungo il processo produttivo;
- le pompe per fluidi per muovere i prodotti liquidi nei processi produttivi e di riempimento;
- la produzione di azoto per la quale l'aria compressa viene filtrata per produrre l'azoto utilizzato nel processo di confezionamento;
- la generazione di coltelli ad aria per tagliare e sbucciare prodotti quali frutta e ortaggi;
- la generazione del vuoto nei processi di confezionamento.

Si che si produca alimenti e bevande, sostanze chimiche, prodotti farmaceutici o componenti elettronici o si operi nel settore automobilistico, abbiamo la soluzione adatta ad ogni esigenza.

Settore farmaceutico, settore chimico

Negli ambienti di lavoro in ambito farmaceutico, la salubrità e la sterilità sono requisiti essenziali. Anche in questo caso, l'aria compressa deve essere assolutamente priva di qualsiasi contaminante (come l'olio). Le aziende di produzione devono, quindi, operare con aria di altissima qualità in ogni momento in modo da eliminare i rischi relativi a danni al processo, a fermi di produzione e campagne di ritiro prodotto. Nel settore farmaceutico le principali applicazioni riguardano:

- l'aria di processo, cioè l'aria che entra direttamente a contatto con i prodotti per scopi di pulizia, aerazione e movimentazione;
- le valvole e i cilindri di controllo impiegati per controllare le attrezzature utilizzate nel processo produttivo;
- la movimentazione di materiali effettuata con impianti di pompaggio di fluidi azionati ad aria compressa, spesso utilizzati in presenza di sostanze volatili non esplosive;
- la produzione di azoto che viene effettuata con aria filtrata attraverso una membrana;
- la generazione di barriere d'aria, in questo caso l'aria compressa viene utilizzata come barriera per creare un'area protetta e pulita;
- l'essiccazione dei prodotti mediante aria che viene miscelata al prodotto per accelerare il processo di essiccazione.

Settore autoveicoli, settore della plastica e del metallo

Per produrre prodotti di qualità mediante l'assemblaggio di elementi, di differente natura, occorrono attrezzature perfette. Le principali applicazioni nel settore autoveicoli riguardano:

- il gonfiaggio dei pneumatici;
- la finitura mediante la vaporizzazione e spruzzo della vernice sui componenti e sui rivestimenti delle autovetture;

- per migliorare la velocità e l'affidabilità di tagli e saldature vengono effettuate il taglio e la saldatura al plasma;
- il diffuso e agevole impiego di utensili ad aria compressa preferibili a quelli elettronici perché più leggeri e maneggevoli;
- l'azionamento delle pompe di verniciatura in presenza di sostanze volatili nei reparti di verniciatura.

Elettronica

Per produrre componenti elettronici si impiegano apparecchiature ad elevato livello tecnologico che devono essere costantemente protetti. Esse impiegano notevoli quantità di aria compressa (ad esempio per trasportare i componenti oppure per azionare valvole) con un grado elevato di purezza, di fatto deve essere priva di contaminanti come ad es. l'olio.

Le principali applicazioni dell'aria compressa nel settore elettronico riguardano:

- la pulizia dei circuiti stampati, in pratica, l'aria viene utilizzata per pulire le schede dopo la produzione;
- nelle macchine pick and place, l'aria aziona i trasportatori pneumatici che spostano i componenti.

Settore tessile

L'aria compressa deve avere caratteristiche di purezza ineccepibili, poiché anche la minima contaminazione potrebbe compromettere la qualità o la sicurezza dei prodotti.

Le principali applicazioni dell'aria compressa nel settore riguardano:

- le attrezzature per finiture a spruzzo impiegate per vaporizzare la vernice da applicare a componenti e prodotti;
- gli utensili ad aria compressa che sono preferibili a quelli elettrici poiché sono più leggeri e maneggevoli,
- gli elevatori pneumatici come i montacarichi ad aria compressa utilizzati nelle operazioni di sollevamento;
- la granigliatura, nella quale l'aria esercita un'azione propulsiva sulla sabbia usata per operazioni di granigliatura e pulizia;
- il raffreddamento e il riscaldamento industriale, dove l'aria viene utilizzata in tubi spiralati per generare volumi elevati di aria calda e fredda per il processo industriale;
- la pulizia, per la quale l'aria, viene utilizzata per i processi di pulizia negli stabilimenti di produzione.

3 Analisi delle Best practices

In questa sezione si illustrano quali Best Practices sono state considerate per migliorare l'efficienza energetica dei CASs. L'indagine, alla base della scelta, ha riguardato aspetti legati ai seguenti punti di analisi:

1. la diagnosi energetica;
2. l'intensità e la frequenza temporale della domanda richiesta;
3. la gestione e il monitoraggio della modalità di produzione;
4. il monitoraggio e il controllo del sistema di distribuzione.

Il primo punto esaminato riguarda l'audit energetico del sito di produzione, attraverso il quale si traccia la mappatura dei componenti dell'impianto di produzione. In tale ambito, è fondamentale conoscere "l'esistente" sia in termini di performance e sia di modalità tecniche di esercizio l'impianto. Nella pratica, significa definire quali sono le caratteristiche della fonte di alimentazione del compressore, al fine di ottimizzare la produzione in termini di resa energetica e quindi di ritorno economico. In questo caso, si fa riferimento sia alle caratteristiche dei componenti dei CASs (motori a giri variabile, tipo di compressore) e sia alla risorsa di alimentazione (aria atmosferica o aria pretrattata).

Per quanto riguarda invece la caratterizzazione del profilo di carico, occorre un'analisi dinamica della richiesta di energia nell'arco delle ore di lavoro, ovvero, durante l'esercizio dell'attività produttiva.

L'analisi istantanea della domanda permetterà di determinare o, quantomeno, di approssimare l'andamento nel tempo della richiesta energetica. Per i sistemi costituiti da più gruppi di compressori con caratteristiche di lavoro differenti si potrà valutare, a seconda della richiesta di energia, quali e quanti compressori spegnere. Infine, l'uso dei sistemi di monitoraggio consentirà di scattare *un'istantanea* della modalità di produzione. In particolare, l'installazione dei sistemi di misura permetteranno di individuare i valori effettivi di portata d'aria prodotta, di pressione, al fine di definire le cadute di pressioni e le eventuali perdite. In Appendice A, si riportano le Best Practices per l'aria compressa.

In base ai profili di analisi elencati sono state considerate quattro categorie di Best Practices:

- una relativa alle scelte delle azioni da cui si potrebbe ottenere il risparmio energetico e sono elencate nella Tabella 3-1;

Tabella 3-1. Best Practices - Categoria 1

| |
|--|
| |
| Audit energetico |
| Risparmio energetico grazie a motori a velocità variabile |
| Risparmio energetico attraverso prevenzione di perdite |
| Risparmio energetico attraverso l'utilizzo di aria esterna |
| Risparmio energetico attraverso la diminuzione delle cadute di pressione |
| Risparmio energetico attraverso ugelli efficienti |

- l'altra categoria riguardano la gestione della domanda, nella Tabella 3-2 sono riportate la sintesi descrittiva.

Tabella 3-2. Best Practices - Categoria 2

| |
|---|
| Usi inappropriati |
| Gestione delle domande di picco |
| Utilizzo di serbatoi e sistemi di controllo automatico per anticipare i picchi di domanda |
| Determinare il costo dell'aria compressa per ogni macchina o processo |
| Profilo di carico |
| Controllare i ricevitori di aria |
| Migliorare la Misurazione e la Registrazione dei Dati |
| Essere certi che l'aria compressa sia la migliore alternativa |

- l'altra categoria riguarda la gestione delle variabili di produzione, come riportato in Tabella 3-2..

Tabella 3-3. Best Practices - Categoria 3

| |
|--|
| Adozione di livelli di pressione multipli |
| Diminuzione di emissioni |
| Minimizzazione della pressione |
| Inefficienze della distribuzione |
| Tutti i processi potrebbero non necessitare di aria compressa contemporaneamente |
| Spegnere l'alimentazione dell'aria compressa in un processo quando non è in funzione |
| Quanta energia usa il tuo compressore |

- infine, l'ultima categoria considerata è relativa alla manutenzione e ad operazioni di management, come elencato in Tabella 3-4.

Tabella 3-4. Best Practices - Categoria 4

| |
|--|
| Mantenere puliti il compressore e le superfici di raffreddamento |
| Agenda della manutenzione |
| Monitoraggio delle prestazioni del compressore (deterioramento) |
| Allocare risorse per raggiungere obiettivi strategici |
| Istituzione di un sistema amministrativo interno per il sostegno |

Pertanto, in base a quanto analizzato, le azioni da perseguire per aumentare l'efficienza energetica dei CASs sono riportati nella Tabella 3-5.

Tabella 3-5. Scelta delle Best Practices -

| Best Practices |
|--|
| 1 Audit energetico |
| 2 Risparmio energetico grazie a motori a velocità variabile |
| 3 Risparmio energetico attraverso prevenzione di perdite |
| 4 Risparmio energetico attraverso l'utilizzo di aria esterna |
| 5 Risparmio energetico attraverso la diminuzione delle cadute di pressione |
| 6 Risparmio energetico attraverso ugelli efficienti |
| 7 Mantenere puliti il compressore e le superfici di raffreddamento |
| 8 Diminuzione di emissioni |
| 9 Usi inappropriati |
| 10 Gestione delle domande di picco |
| 11 Minimizzazione della pressione |
| 12 Inefficienze della distribuzione |
| 13 Utilizzo di serbatoi e sistemi di controllo automatico per anticipare i picchi di domanda |
| 14 Essere certi che l'aria compressa sia la migliore alternativa |
| 15 Tutti i processi potrebbero non necessitare di aria compressa contemporaneamente |
| 16 Spegnerne l'alimentazione dell'aria compressa in un processo quando non è in funzione |
| 17 Determinare il costo dell'aria compressa per ogni macchina o processo |
| 18 Quanta energia usa il tuo compressore |
| 19 Profilo di carico |
| 20 Controllare i ricevitori di aria |
| 21 Migliorare la Misurazione e la Registrazione dei Dati |
| 22 Livelli di pressione multipli |
| 23 Agenda della manutenzione |
| 24 Monitoraggio delle prestazioni del compressore (deterioramento) |
| 25 Allocare risorse per raggiungere obiettivi strategici |
| 26 Istituzione di un sistema amministrativo interno per il sostegno |

3.1 La struttura del questionario

Gli aspetti da approfondire, mediante la somministrazione del questionario alle aziende, sono stati individuati, analogamente alle Best Practices, in base alle relazioni e alle dipendenze delle variabili che intervengono nei processi dei CASs.

Le domande sono state raggruppate in tre profili: *dimensionale*, *funzionale* e *gestionale*. Tale distinzione è stata effettuata perché le problematiche riguardano *scelte decisionali* che possono essere attuate in momenti temporali differenti, anche molto distanti nel tempo.

Nel profilo dimensionale sono state considerate le domande relative alle uscite desiderate in termini di potenza e di pressione. Esse sono implicitamente legate al corretto dimensionamento della rete di aria compressa che va dalla lunghezza e/o geometria dei tratti alla scelta dei componenti che garantiscano di

ottenere gli outputs attesi. Nella Tabella 3-6 sono riportati i contenuti delle domande corrispondenti al profilo funzionale.

Tabella 3-6 . Profilo dimensionale

| |
|--|
| Per quanto riguarda la pressione di erogazione dell'aria compressa.....(Q10).. |
| Il posizionamento della presa dell'aria in ingresso ai compressori.....(Q9)..... |
| Per quanto riguarda le perdite di aria compressa nella rete di distribuzione (Q11).. |

Per quanto riguarda le domande del profilo funzionale sono relative al profilo di carico e alle modalità di esercizio per soddisfare la richiesta dell'utenza. Dalla rispondenza energetica tra richiesta e produzione, scaturiscono le operazioni di regolazione del comparto dei compressori. Inoltre, nello stesso gruppo sono state fatte rientrare le domande relative alla manutenzione dei compressori. Nella Tabella 3-7 sono riportate le domande corrispondenti al profilo funzionale.

Tabella 3-7. Profilo funzionale

| |
|---|
| Per quanto riguarda il profilo di richiesta dell'aria compressa.. (Q5) |
| Per quanto riguarda la pianificazione della manutenzione dei compressori (Q6).. |
| Per quanto riguarda il sistema di regolazione dei compressori (on/off, vuoto/carico, inverter)...(Q7) |
| Le cadute di pressione nell'impianto di distribuzione dell'aria compressa (Q8). |

Infine, sono state considerate le domande relative alle problematiche di raccolta e di analisi dei dati, legate al monitoraggio dei consumi dell'utenza. Al fine di ottimizzare, la modalità di produzione mediante la diretta correlazione tra i dati (ad es. fattore di contemporaneità).

Nella Tabella 3-8 si riportano le domande corrispondenti al profilo gestionale.

Tabella 3-8. Profilo gestionale

| |
|---|
| Efficientamento energetico del sistema aria compressa nelle varie fasi dei processi produttivi (Q1) |
| Diagnosi sistematiche e documentate dell'impianto aria compressa, finalizzate all'individuazione di opportunità di risparmio energetico (audit energetici) condotte anche attraverso l'analisi di dati disponibili e sopralluoghi che possono prevedere anche campagne di misura (Q2) |
| Per quanto riguarda gli usi impropri dell'aria compressa (Q3) |
| Applicazioni di sistemi che determinano le quantità di aria compressa prodotta e/o utilizzata (definizione ed utilizzo di un piano di misura che individui le grandezze da misurare, la frequenza di misurazione e gli strumenti di misura) (Q4) |
| Analisi dei dati di costo e di consumo dell'impianto aria compressa (Q12) |

L'obiettivo che si intende raggiungere mediante l'attività di indagine e quindi, mediante il questionario sviluppato, permetterà di individuare quali tipi di azioni sono necessarie per migliorare lo stato reale, in base alle condizioni effettive riscontrate, nelle industrie nazionali.

3.2 Il campione di dati dell'indagine

I dati sulla produzione di aria compressa e sull'energia consumata rendono l'analisi comparativa non completamente significativa, per tutti i settori presi in considerazione, a causa della bassa significatività dei dati disponibili. Al fine di ottenere risultati indicativi il questionario è stato somministrato alle aziende il cui consumo elettrico, relativo all'impianto di aria compressa è maggiore del 5% del totale. La Figura 4 mostra la distribuzione percentuale del campione. Il campione più numeroso è rappresentato dal settore chimico che è anche il più energivoro in termini di richiesta.

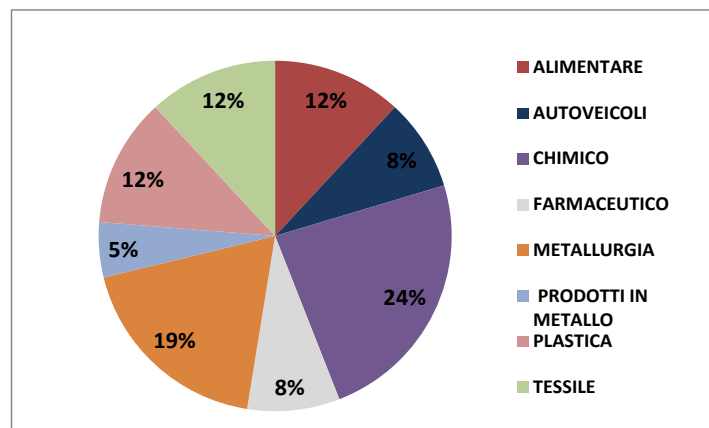


Figura 3.1. Ripartizione percentuale dell'energia elettrica AC in base alla modalità di misura

Al fine di ottenere, un set di dati migliore e quindi poter effettuare una buona analisi di riferimento, le domande del questionario sono state raggruppate in classi (1,2,3) in funzione del tipo e del numero di risposte. Questo tipo di caratterizzazione è necessaria, poiché il set di dati è composto principalmente da valori stimati.

Nella valutazione delle risposte si è tenuto conto del peso differente di ciascuna di esse sul totale delle risposte del campione di aziende di tutti i settori. In **appendice B**, si riportano i relativi diagrammi per ogni domanda, dove viene pesata la risposta sul totale delle risposte per ogni settore.

Nella Tabella 3-9 sono distinte le domande costituenti le classi e il numero di risposte.

Le righe indicano il numero di scelte (da 3 a 5). Le colonne indicano la classe delle domande. La prima colonna raccoglie domande generali sull'efficienza energetica di CAS, la seconda colonna raggruppa le domande sui sistemi di misura e nella terza colonna ci sono domande circa le condizioni di lavoro. Le risposte sono organizzate in base al crescente livello di sviluppo delle procedure di gestione e di funzionamento. Uno dei modi più semplici e potenti per ridurre il consumo di energia è quello di installare un sistema di misura in grado di monitorare continuamente e di rilevare eventuali anomalie. Per questa ragione, l'analisi si è concentrata sulla classe 2 (circa il sistema di misura).

Tabella 3-9. Tipologia e numero di domanda costituenti le classi

| | CLASSI | | |
|-----------------|----------------------|------------------|--------------------|
| | domande (1,2,6,9,12) | domande (4,8,11) | domande (3,5,7,10) |
| numero risposte | 1 | 2 | 3 |
| 3 | Q12 | Q4 | -- |
| 4 | Q1,Q9 | Q11 | Q10 |
| 5 | Q2,Q6 | Q8 | Q3,Q5,Q7 |

FASE 2

4 Campagna di analisi

Dopo aver esaminato ed elaborato, tutte le questioni inerenti alla produzione energetica nei CASs, si è passati all'analisi delle domande alle aziende dei settori considerati, come di seguito illustrate.

In particolare, è stato effettuato il confronto delle risposte in base alle classi e ai profili di domande precedentemente definiti. L'intento è stato quello di individuare le tendenze aziendali per stimolare il miglioramento energetico e indirizzare l'evoluzione delle politiche energetiche, verso azioni effettivamente percorribili.

Dall'analisi dei risultati ottenuti per le classi sono state scelte le domande da raggruppare in base a dei criteri e/o profili. La valutazione del livello del profilo è stata valutata in base ai livelli di efficienza elaborati nei contenuti delle risposte. Sono stati individuati degli indicatori che forniscono qualitativamente il livello dell'azienda nel settore, nonché, il livello del settore in base alle risposte.

Ad ogni risposta è associata una classe d'intervento e, mediante degli indicatori, ad ogni classe di intervento sono associati dei precisi e ben definiti livelli di qualità. Le classi di intervento sono definite dal seguente array [INDIVIDUAZIONE/VALUTAZIONE/PROGRAMMAZIONE] a cui corrispondono dei livelli di "qualità o possibilità" così rappresentati:

INDIVIDUAZIONE→ASSENTE/PRESENTE

VALUTAZIONE→ASSENTE/BASSA/MEDIA/ALTA

PROGRAMMAZIONE→ASSENTE/PRESENTE e - o BASSA/PRESENTE

Precisamente, nella rappresentazione grafica dei risultati si considerano per ciascun livello le seguenti corrispondenze livello-colore:

- prossimo allo zero (colore celeste);
- livello 1 (colore rosso);
- livello 2 (colore verde);
- livello 3 (colore viola);
- livello 4 (colore nero).

Praticamente ad ogni colore corrisponde una risposta, a cui è associato un indicatore della classe d'intervento. La sequenza delle risposte segue l'ordine crescente dei livelli, ad es. alla risposta 1 è associato il colore celeste al quale corrisponde sempre il livello più basso (zero).

Specificatamente, alla risposta 1 corrisponde il colore celeste, che presenta i livelli di qualità per classe di intervento più bassi, che ne esprimono lo stato, ovvero, per la classe d'intervento "INDIVIDUAZIONE" si ha il livello assente, per la classe "VALUTAZIONE" si ha il livello assente e per "PROGRAMMAZIONE" si hanno i livelli di qualità precedentemente elencati.

Analisi Classe 1

Le domande che costituiscono la classe 1 sono relative all'audit energetico del CASs nel suo complesso, ovvero, dei singoli componenti impiantistici in termini di prestazione e manutenzione, dei rami della rete di distribuzione in termini di corretto posizionamento e relative cadute di pressione, delle problematiche di costo in termini di efficienza energetica.

Tabella 4-1. Risposte alle domande costituenti la classe 1

| CLASSE 1 | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|--------|-------|
| risposte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Q1 | 13,56% | 20,34% | 30,51% | 35,59% | ----- |
| Q2 | 8,47% | 6,78% | 22,03% | 37,29% | 25,42 |
| Q6 | 0 | 11,86% | 27,11% | 55,93% | 5,08% |
| Q9 | 20,33% | 11,86% | 10,17% | 57,62% | ----- |
| Q12 | 27,11% | 33,89% | 38,98% | ---- | ----- |

I risultati delle domande Q1, Q2, Q6, Q9 e Q12 sono raccolti nella Tabella 4-1, le risposte alla domanda Q1 mostrano che la maggior parte delle aziende intervistate (circa il 30%) hanno valutato l'efficientamento energetico dei CASs e ritengono che sia una prassi consolidata. Dall'analisi delle risposte alla domanda Q2, si nota che, le percentuali di risposta 1 e 2 relative al mancato audit energetico dei CASs è inferiore al 10% del campione. La maggior parte del campione (37%) ha effettuato recentemente azioni di efficientamento, mentre, il 25 % le effettua con periodicità. Dalla domanda Q6, riguardante la manutenzione dei compressori, circa il 55 % effettua la manutenzione periodica dei compressori e la pulizia dei filtri. Per la domanda Q9, relativa alla posizione della presa d'aria, il 10 % delle aziende ha valutato non corretta la sua ubicazione e, dichiara di aver pianificato un intervento nell'immediato futuro, mentre per il 57% del campione risulta corretto e il 20% del campione non ha mai verificato la sua correttezza. Infine, per la domanda Q12, relativa ai consumi di aria compressa e ai costi, risulta che il 38% delle aziende effettua il monitoraggio periodico del rapporto dei costi sui consumi.

Analisi Classe 2

I risultati delle domande Q4, Q8 e Q11 sono raccolti nella Tabella 4-2. Le risposte alla Q4, relativa all'applicazione di sistemi che definiscono la quantità di aria compressa prodotta e/o consumata, unitamente alle sue grandezze caratteristiche (frequenza, ecc.), mostrano che la maggior parte delle aziende intervistate (52%), non adottano dei sistemi di pianificazione delle misure. Dall'analisi delle risposte alla domanda 8 relativa alle cadute di pressione, si nota che, aggiungendo le percentuali di risposta 1 e 2, la maggior parte del campione, non ha ancora istituito un sistema di controllo delle cadute di pressione. Pertanto, vi è la possibilità che alcuni di essi producano aria compressa ad una pressione superiore a quella richiesta dall'utilizzatore, che causa l'aumento considerevole del consumo. Dalla domanda Q11, relativa alle perdite nella rete di distribuzione che solo il 15% del campione non ha mai intrapreso azioni per valutare la perdita di aria compressa. Tali risultati possono essere considerati positivi in quanto indicano una certa sensibilità ai dati energetici.

Tabella 4-2. Risposte alle domande costituenti la classe 2

| CLASSE 2 | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| risposte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Q4 | 52,54% | 11,86% | 35,59% | ----- | ----- |
| Q8 | 37,29% | 15,25% | 16,95% | 10,17% | 20,23% |
| Q11 | 15,25% | 30,51% | 32,20% | 22,03% | ----- |

Analisi Classe 3

I risultati delle domande Q3, Q5, Q7 e Q10 sono raccolti nella Tabella 4-3. Le risposte alla domanda Q3, relativa agli usi impropri dell'aria compressa, mostrano che gli operatori della maggior parte delle aziende intervistate (pari al 55% del campione), effettuano azioni rivolte al corretto esercizio dei CAS's. Dall'analisi delle risposte alla domanda 5 relativa alla richiesta di aria compressa circa la metà delle aziende intervistate (28% e 22%) ricostruiscono il carico utilizzando sia i dati di targa e sia dati storici. Per la domanda Q7, relativa alla regolazione, circa la metà del campione effettua una regolazione ottimizzata. Infine, dalle risposte alla Q10, relativa alla pressione di erogazione, più della metà di aziende intervistate, riferiscono che i sistemi sono impostati sul valore massimo della pressione di aria richiesta.

Tabella 4-3. Risposte alle domande costituenti la classe 3

| CLASSE 3 | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| risposte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Q3 | 11,86% | 55,92% | 22,03% | 10,16% | 0,00% |
| Q5 | 16,94% | 28,81% | 22,03% | 10,16% | 22,03% |
| Q7 | 5,08% | 10,16% | 10,16% | 25,42% | 49,15% |
| Q10 | 6,77% | 54,23% | 32,20% | 6,77% | ----- |

4.1 Analisi dei livelli attuali

Con l'obiettivo di determinare il livello dell'azienda, all'interno del settore di competenza e la collocazione di quest'ultimo nell'area industriale, sono state definite due categorie di indicatori χ e ζ . La prima rappresenta la categoria relativa al comportamento dell'azienda all'interno del proprio settore merceologico, mentre, la seconda categoria rappresenta il livello dell'unità sul corrispondente livello dell'intera area industriale. In pratica, con i risultati dell'audit energetico sono stati ricostruiti gli andamenti sia rispetto al settore e sia rispetto all'area di appartenenza nel comparto industriale, distinguendoli in base alla tipologia del profilo delle domande (§3.1).

In base all'approccio analitico adottato, sono stati definiti quattro parametri di valutazione di posizione, indicati con χ_1 , χ_2 , ζ_1 e ζ_2 (cioè per ogni risposta al quesito il livello corrispondente all'indicatore di posizione). Per ogni risposta, gli indicatori della prima categoria rappresentano:

- χ_1 , il rapporto della i-esima risposta della j-esima domanda sul numero totale delle risposte del settore (valutazione per colonna) cioè rappresenta il peso della risposta rispetto al numero di aziende intervistate all'interno del settore;
- χ_2 il rapporto della i-esima risposta della j-esima domanda sul totale del numero di aziende del settore (valutazione per colonna) cioè rappresenta il peso della risposta rispetto al numero totale di risposte all'interno del settore;

In pratica, rappresentano il peso del tipo di risposta dell'unità merceologica sul totale della corrispondente risposta dei settori industriali.

Gli indicatori della seconda categoria rappresentano:

- ζ_1 il rapporto della i-esima risposta della j-esima domanda sulla somma dell'i-esima risposta di tutti i settori (valutazione per riga), cioè rappresenta il peso della risposta all'interno del totale delle aziende intervistate (tutti i settori);

- ζ_2 il rapporto della i-esima risposta della j-esima domanda numero di aziende totale delle aziende intervistate (valutazione per riga), cioè rappresenta la risposta percentuale di un settore rispetto al totale (tutti i settori) della medesima risposta.

4.1.1 Profilo dimensionale

Nell'ambito di ogni profilo, sono state effettuate le indagini di seguito illustrate.

Precisamente, per ogni domanda del questionario sono state esaminate le risposte con un elevato livello di approfondimento. Per quanto riguarda il profilo dimensionale, che risulta costituito dalle domande Q_9 , Q_{10} , Q_{11} si riportano gli andamenti relativi ai quattro indici nelle Figura 4.1, Figura 4.2, Figura 4.3 e Figura 4.4.

Per migliorare l'efficienza energetica, si è ritenuto essenziale partire dalle condizioni e dallo stato attuale dei CASs. Di fatto, l'analisi del profilo dimensionale mira a valutare, sia il corretto posizionamento dei componenti e sia le loro condizioni di funzionamento. A riguardo, la domanda Q_9 prende in considerazione il posizionamento e lo stato della presa d'aria in ingresso ai compressori. Nella Tabella 4-4 per la domanda Q_9 sono riportati la rispondenza tra il colore e il livello della classe di intervento, ovvero, sono rappresentate le corrispondenze tra la risposta e il colore.

Tabella 4-4. Risposte alla domanda Q_9

| Il posizionamento della presa dell'aria in ingresso ai compressori: |
|--|
| non è mai stato verificato; |
| è stato valutato non corretto (la presa d'aria risulta spesso calda e umida) ma non è stato pianificato nessun intervento di miglioramento a riguardo; |
| è stato valutato non corretto (la presa d'aria risulta spesso calda e umida) ed è stato pianificato un intervento di miglioramento a riguardo; |
| risulta corretto; |

Per gli indicatori, come verrà di seguito illustrato, si hanno le seguenti situazioni:

- per l'indicatore $\chi_1 \Rightarrow$ la percentuale del campione di aziende intervistate che dichiara, il corretto funzionamento e posizionamento della presa d'aria (risposta 4=colore viola), è inesistente, ad eccezione dei settori alimentare (29%) e della metallurgia (36%), come rappresentato in Figura 4.1.

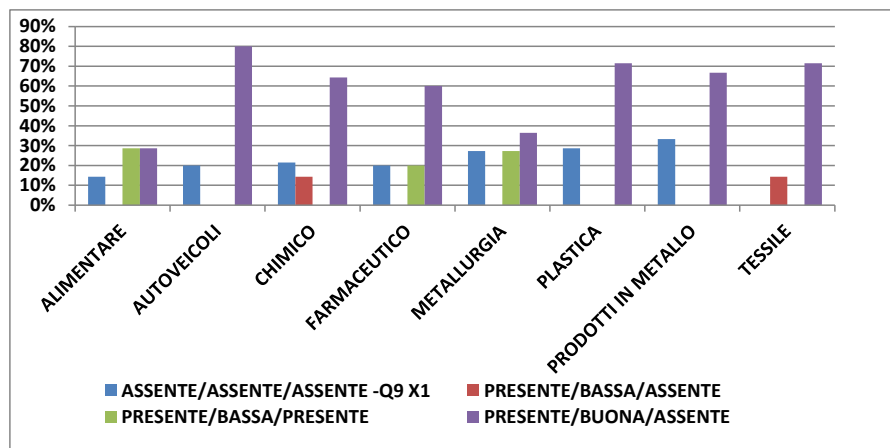


Figura 4.1. Indicatore χ_1 relativo alle risposte della domanda Q_9

- per l'indicatore $\chi_2 \Rightarrow$ la percentuale del campione di aziende intervistate che dichiara il corretto funzionamento e posizionamento della presa d'aria (risposta 4=colore viola) è > del 60%, ad eccezione dei settore alimentare (40%) e della metallurgia (40%), come rappresentato in Figura 4.2.

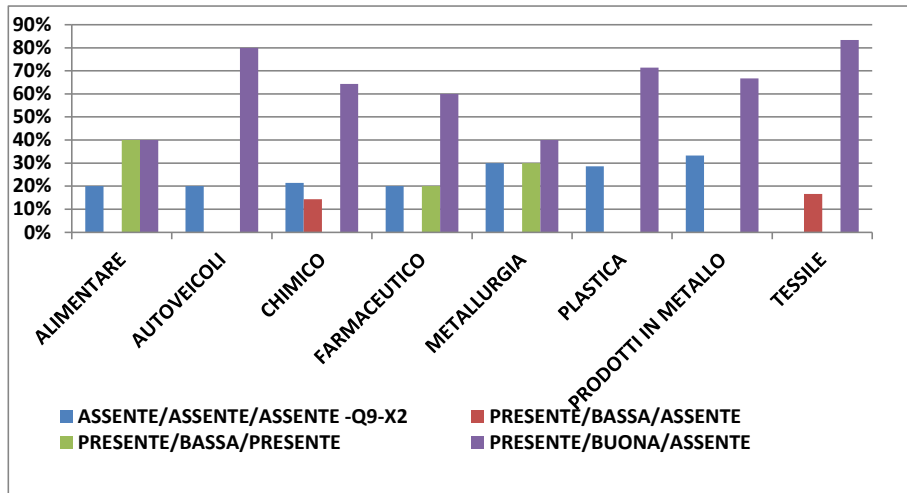


Figura 4.2. Indicatore χ_2 relativo alle risposte della domanda Q₉

- per l'indicatore $\zeta_1 \Rightarrow$ la percentuale del campione di aziende intervistate che dichiara il corretto funzionamento e posizionamento della presa d'aria (risposta 4=colore viola) è < dell'8%, ad eccezione del settore chimico (15%), come rappresentato in Figura 4.3.

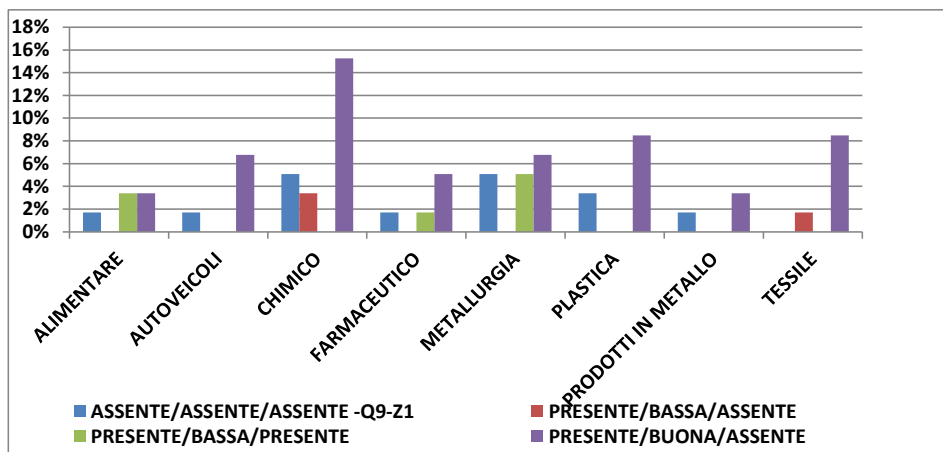


Figura 4.3. Indicatore ζ_1 relativo alle risposte della domanda Q₉

- per l'indicatore $\zeta_2 \Rightarrow$ la percentuale del campione di aziende intervistate che dichiara il corretto funzionamento della presa d'aria (risposta 4=colore viola) è > 10% e < 30% ad eccezione dei settori chimico (67%) e tessile (33%), come rappresentato in Figura 4.4.

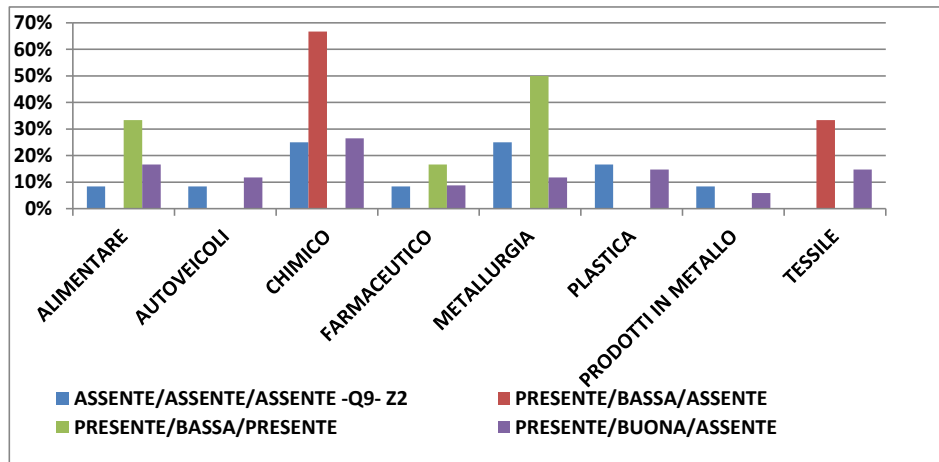


Figura 4.4. Indicatore χ_2 relativo alle risposte della domanda Q₉

Si conclude che, per i quattro indicatori, prevale la risposta viola alla quale corrispondono i più alti livelli di qualità.

La domanda Q10 prende in considerazione, il corretto funzionamento alla pressione di esercizio e la differenziazione della pressione, in base ai valori richiesti. Nella Tabella 4-5 per la domanda Q₁₀, sono riportati la rispondenza tra il colore e il livello della classe di intervento, ovvero, sono rappresentate le corrispondenze tra la risposta e il colore.

Tabella 4-5. Risposte alla domanda Q₁₀

| Per quanto riguarda la pressione di erogazione dell'aria compressa: |
|---|
| non è mai stata valutata la possibilità di ridurla; |
| è settata sul massimo valore richiesto dalle utenze, identificato sulla base di una serie di prove; |
| viene regolata in base alle condizioni operative dell'impianto (ad es. giorni feriali e giorni festivi) e della richiesta delle singole utenze; |
| è stata valutata la possibilità di gestire separatamente alcuni rami dell'impianto che richiedono pressioni differenti (utilizzando diversi compressori o booster). |

Per gli indicatori, si rilevano le situazioni di seguito illustrate.

- Per l'indicatore $\chi_1 \Rightarrow$ il numero di aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.5, così ripartito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (18%) riguarda la metallurgia mentre il minimo diverso da zero (7%) riguarda il settore chimico; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (86%) riguarda la plastica mentre il minimo (29%) riguarda il settore alimentare; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (57%) riguarda i settori tessile e alimentare, mentre, il minimo diverso da zero riguarda il settore della metallurgia (7%); nella risposta 4 (colore viola) il valore max (40%) riguarda il farmaceutico mentre il minimo diverso da zero riguarda il settore della plastica (14%).

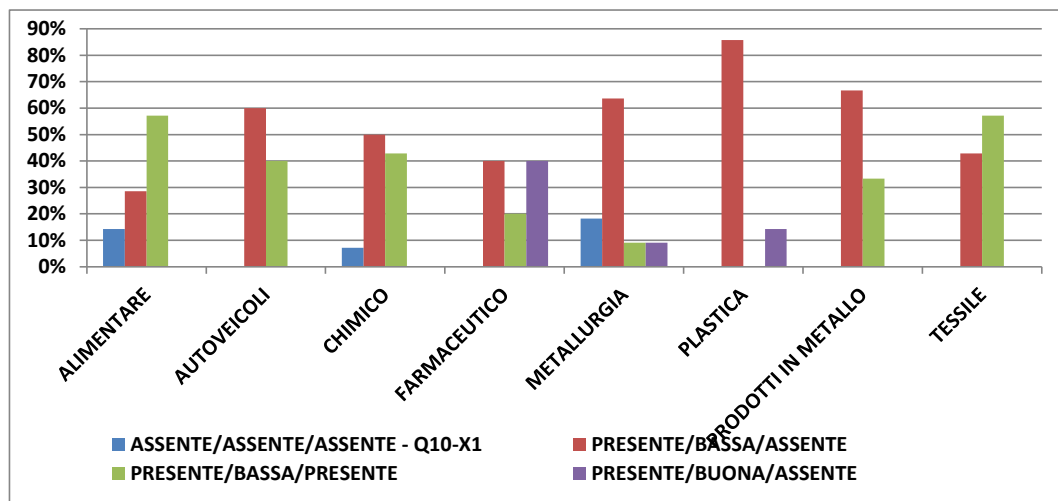


Figura 4.5. Indicatore χ_1 relativo alle risposte della domanda Q₁₀

- per l'indicatore $\chi_2 \Rightarrow$ le risposte coincidono con quelle del profilo X1, poiché tutte le aziende hanno fornito solo una risposta e quindi, si ha che il numero di risposte coincide con il numero delle aziende intervistate, come rappresentato in Figura 4.6.

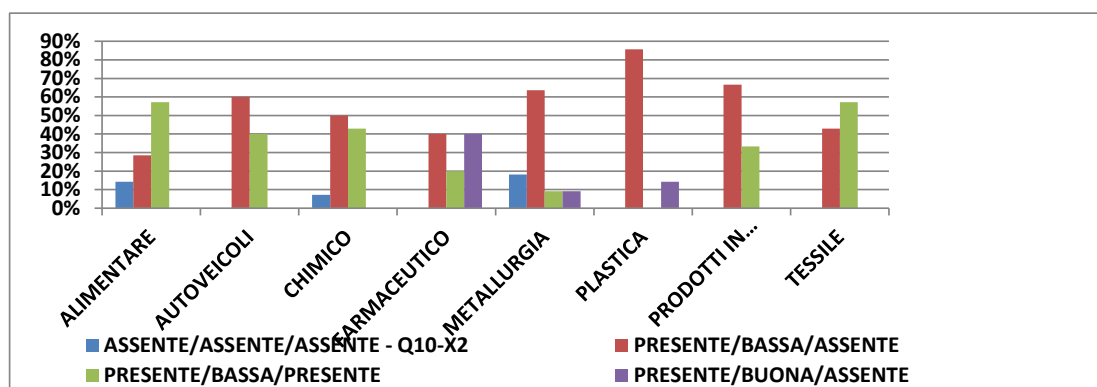


Figura 4.6. Indicatore χ_2 relativo alle risposte della domanda Q₁₀

- per l'indicatore $\zeta_1 \Rightarrow$ le aziende che dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato nella Figura 4.7, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (3%) riguarda la metallurgia mentre il minimo diverso da zero (2%) riguarda i settori chimico e alimentare; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (12%) riguarda i settori della metallurgia e il chimico, mentre, il minimo (3%) riguarda i settori alimentare, farmaceutico e prodotti in metallo ; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (10%) riguarda il chimico mentre il minimo diverso da zero (2%) riguarda i settori della metallurgia e farmaceutico; nella risposta 4 (colore viola) il valore max (3%) riguarda il farmaceutico mentre il minimo diverso da zero (2%) riguarda i settore della plastica e della metallurgia.

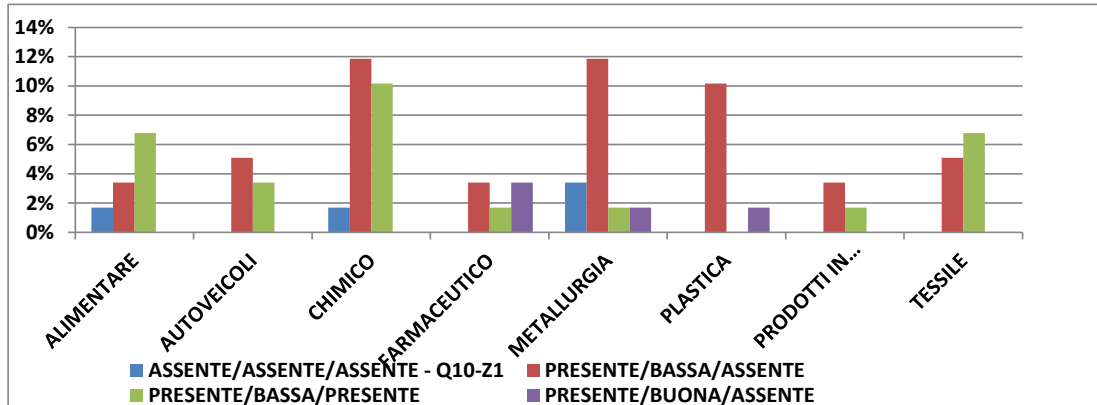


Figura 4.7. Indicatore c_1 relativo alle risposte della domanda Q_{10}

- per l'indicatore $c_2 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato nella Figura 4.8, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max riguarda la metallurgia (50%) e il minimo diverso da zero i settori alimentare (25%) e chimico (25%); nella risposta 2 (colore rosso) il valore max riguarda i settori chimico (22%) e metallurgia (22%); nella risposta 3 (colore verde) il valore max riguarda il chimico (32%) e il minimo diverso da zero riguarda il farmaceutico (5%) e prodotti in metallo (5%); nella risposta 3 (colore viola) è nullo a accezione dle settore (farmaceutico (3%), metallurgia (2%) , plastica (2%).

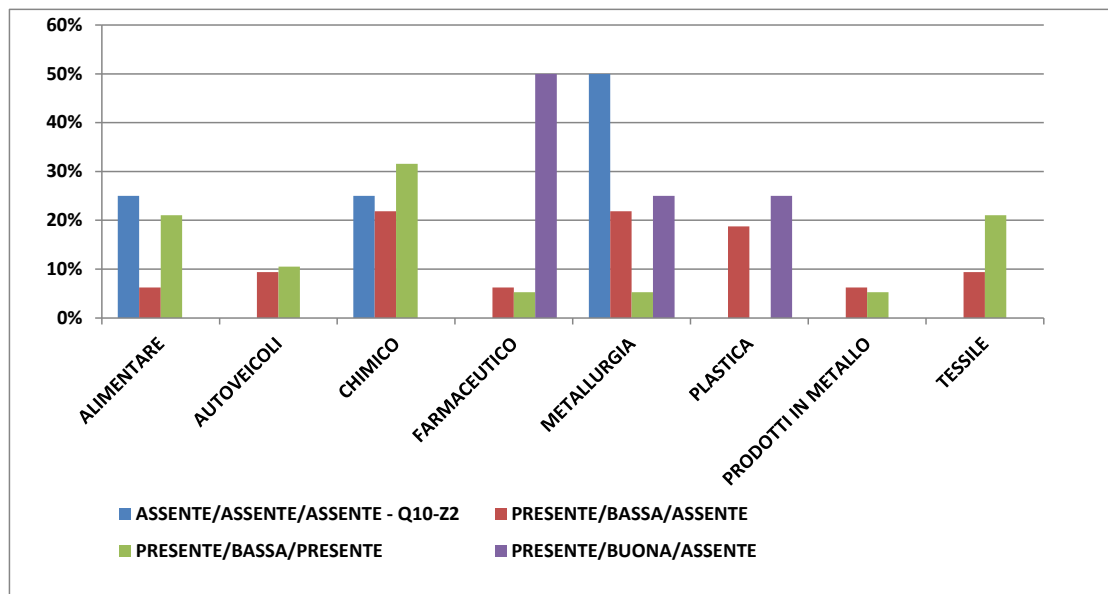


Figura 4.8. Indicatore c_2 relativo alle risposte della domanda Q_{10}

Si conclude che, per tutti i quattro indicatori, prevalgono le risposte in rosso e in verde, alle quali corrispondono bassi livelli di qualità.

La domanda Q_{11} prende in considerazione le perdite di aria compressa nella rete di distribuzione. Nella Tabella 4-6, per la domanda Q_{11} sono riportati la rispondenza tra il colore e il livello della classe di intervento, ovvero, sono rappresentate le corrispondenze tra la risposta e il colore.

Tabella 4-6. Risposte alla domanda Q₁₁

| |
|---|
| Per quanto riguarda le perdite di aria compressa nella rete di distribuzione: |
| non è mai stata effettuata una valutazione della loro entità; |
| ne è stata stimata l'entità sulla base di prove di accensione/spegnimento dei compressori a impianto fermo e si sta valutando di intraprendere un'azione di miglioramento in tal senso; |
| sono stati effettuati dei sopralluoghi a seguito dei quali sono state rimosse le perdite più significative ed è stato almeno pianificato l'inserimento di apposite valvole a solenoide sui condotti verso le apparecchiature utilizzatrici; |
| sono state eliminate o ridotte anche le perdite di minore entità . |

Per gli indicatori, si rilevano le situazioni di seguito illustrate.

- Per l'indicatore $\chi_1 \Rightarrow$ il numero di aziende che dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.9, risulta così suddiviso: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (43%) riguarda il settore alimentare, mentre, il minimo diverso da zero (7%) riguarda il settore chimico; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (55%) riguarda la metallurgia, mentre, il minimo (14%) riguarda il settore chimico ; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (50%) riguarda il chimico, mentre, il minimo diverso da zero(14%) riguarda i settori della plastica e del tessile ; nella risposta 4 (colore viola) il valore max (57%) riguarda il tessile, mentre, il minimo diverso da zero riguarda il settore autoveicoli (20%).

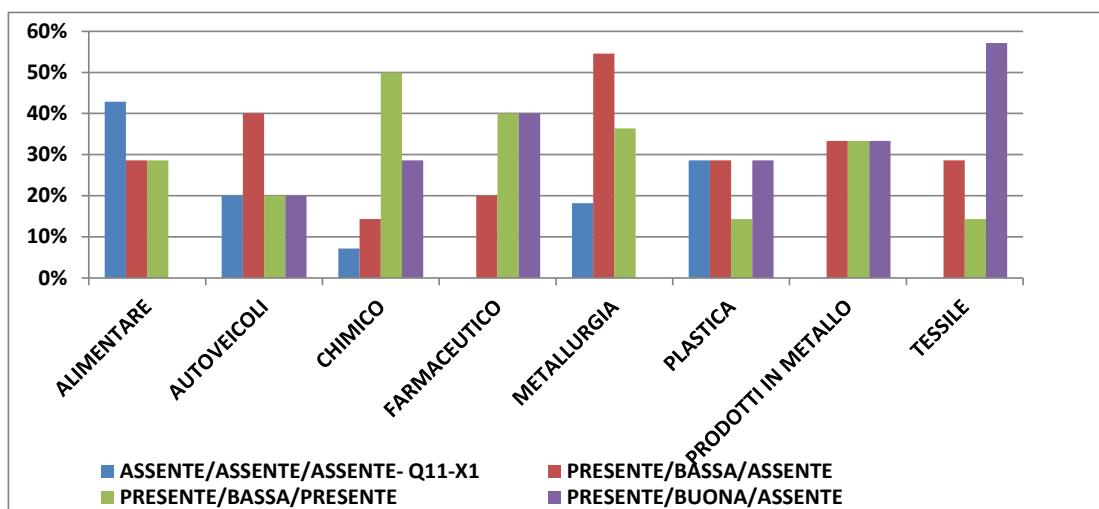


Figura 4.9. Indicatore χ_1 relativo alle risposte della domanda Q₁₁

- per l'indicatore $\chi_2 \Rightarrow$ le risposte coincidono con quelle del profilo χ_1 , poiché tutte le aziende hanno fornito una sola risposta e, quindi, si ha che il numero di risposte coincide con il numero delle aziende intervistate ad accezione del valore max (50%) della risposta 2 (colore rosso) che riguarda la metallurgia, come rappresentato in Figura 4.10.

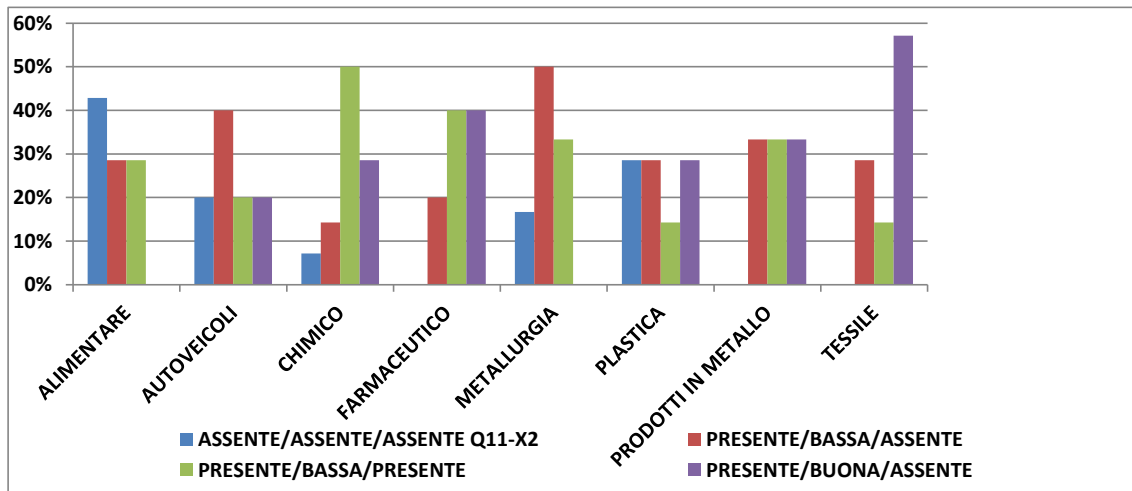


Figura 4.10. Indicatore χ_2 relativo alle risposte della domanda Q_{11}

- per l'indicatore $\zeta_1 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.11, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (5%) riguarda l'alimentare, mentre, il minimo diverso da zero (2%) riguarda i settori chimico e autoveicoli; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (10%) riguarda la metallurgia, mentre, il minimo diverso da zero (2%) riguarda i settori farmaceutico e prodotti in metallo; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (12%) riguarda il chimico mentre il minimo diverso da zero (2%) riguarda i settori autoveicoli, tessile, prodotti in metallo e plastica; nella risposta 4 (colore viola) il valore max (7%) riguarda i settori chimico e tessile, mentre, il minimo diverso da zero (2%) riguarda i settori dei prodotti in metallo e autoveicoli.

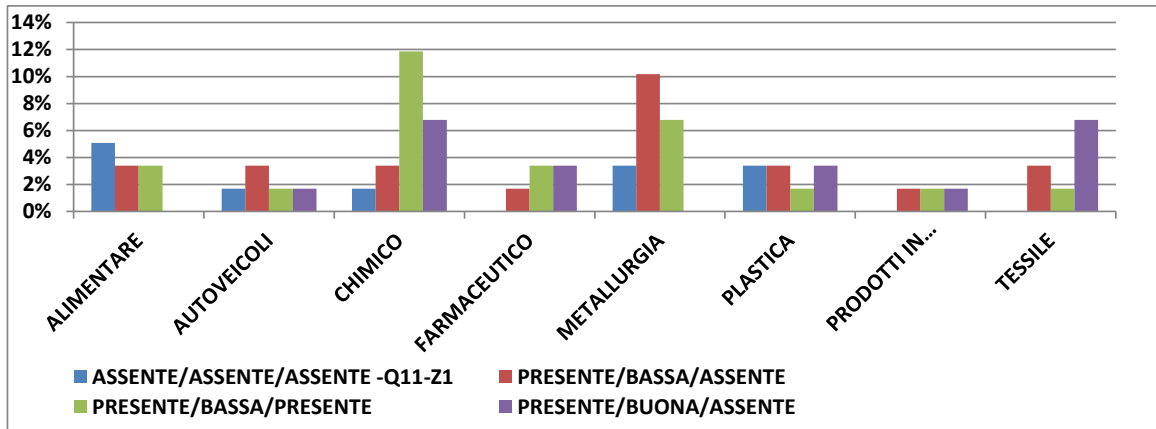


Figura 4.11. Indicatore ζ_1 relativo alle risposte della domanda Q_{11}

- per l'indicatore $\zeta_2 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.12, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max riguarda l'alimentare (33%) e il minimo diverso da zero (11%) riguarda i settori chimico e autoveicoli; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max riguarda il settore chimico (33%); nella risposta 3 (colore verde) il valore max riguarda il chimico (37%) e il minimo diverso da zero (5%) riguarda i settori della plastica, autoveicoli, tessile e prodotti in metallo; nella risposta 3 (colore viola) il valore max (29%) riguarda i settori chimico e tessile, mentre il minimo diverso da zero (7%) riguarda i prodotti in metallo e autoveicoli.

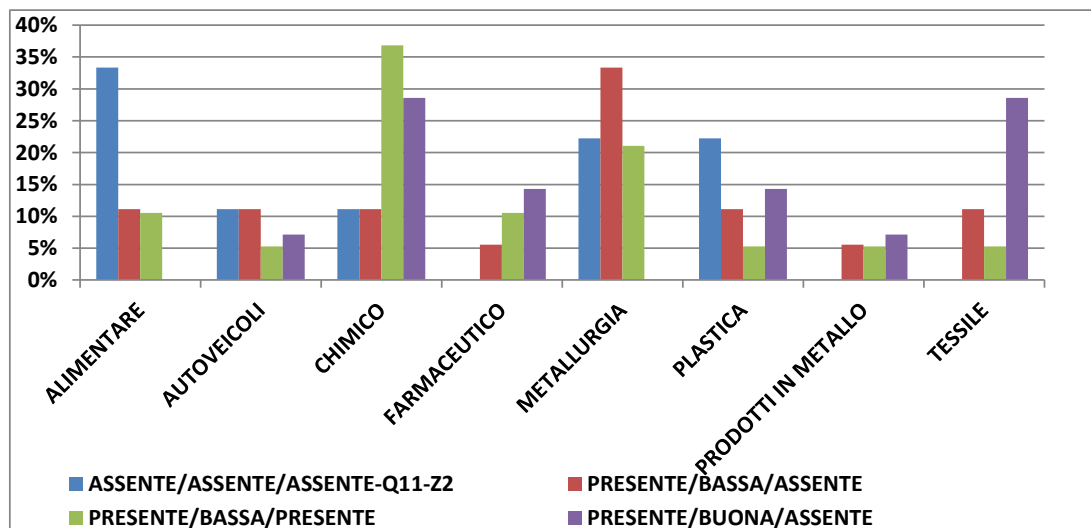


Figura 4.12. Indicatore ζ_2 relativo alle risposte della domanda Q₁₁

Si conclude che per tutti i quattro indicatori, si ha un’equa ripartizione tra il colore dei livelli più bassi, rappresentati dai colori celeste e verde, e i colori rappresentanti una qualità superiore e rappresentati dai colori viola e rosso.

4.1.2 Profilo funzionale

Le indagini sono state effettuate per ogni profilo considerato, in particolare, sono stati esaminate le risposte ad ogni domanda del questionario. Per quanto riguarda il profilo funzionale, che risulta, costituito dalle domande Q5, Q6; Q7, Q8 si riportano gli andamenti, relativi ai quattro indici, nelle Figura 4.13, Figura 4.14, Figura 4.15, Figura 4.16.

Per migliorare l’efficienza energetica, si è ritenuto essenziale partire dalle condizioni e dallo stato attuale dei CASs. Di fatto l’analisi del profilo funzionale mira a valutare, sia i profili di carico e sia le condizioni di di produzione.

A riguardo, la domanda Q5 prende in considerazione la modalità utilizzata per costruire il profilo di carico. Nella Tabella 4-7, per la domanda Q₅ sono riportati la rispondenza tra il colore e il livello della classe di intervento, ovvero, sono rappresentate le corrispondenze tra la risposta e il colore.

Tabella 4-7. Risposte alla domanda Q₅

| Per quanto riguarda il profilo di richiesta dell’aria compressa |
|--|
| non è mai stato ricostruito e valutato; |
| è stato sommariamente ricostruito sulla base di dati di targa e si sta valutando la possibilità di ottimizzare l’accumulo (ad es. ridimensionando il serbatoio esistente o posizionando nuovi serbatoi nei pressi di utenze chiave); |
| la domanda di aria è misurata e si sta pianificando di valutare sia l’ottimizzazione dell’accumulo che il load shifting; |
| ottimizzazione dell’accumulo e load shifting sono stati entrambi valutati; |
| il profilo della richiesta di aria compressa è ottimizzato e l’aggiunta di nuovi carichi viene studiata tenendo conto dell’impatto sul profilo di domanda. |

Per gli indicatori, si rilevano le situazioni di seguito illustrate.

- per l’indicatore $\chi_1 \Rightarrow$ il numero di aziende che dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato nella Figura 4.13, risulta ripartito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (43%)

riguarda il settore plastica mentre il minimo diverso da zero (7%) riguarda il settore chimico; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (71%) riguarda il tessile, mentre, il minimo (7%) riguarda il settore chimico ; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (67%) riguarda i prodotti di metallo, mentre, il minimo diverso da zero (14%) riguarda i settori alimentare e tessile ; nella risposta 4 (viola) il max riguarda il chimico (21%), mentre, il minimo diverso da zero (18%) riguarda il settore della metallurgia, nella risposta 5 (colore nero) il valore massimo riguarda il farmaceutico (80%) e il minimo il tessile (14%).

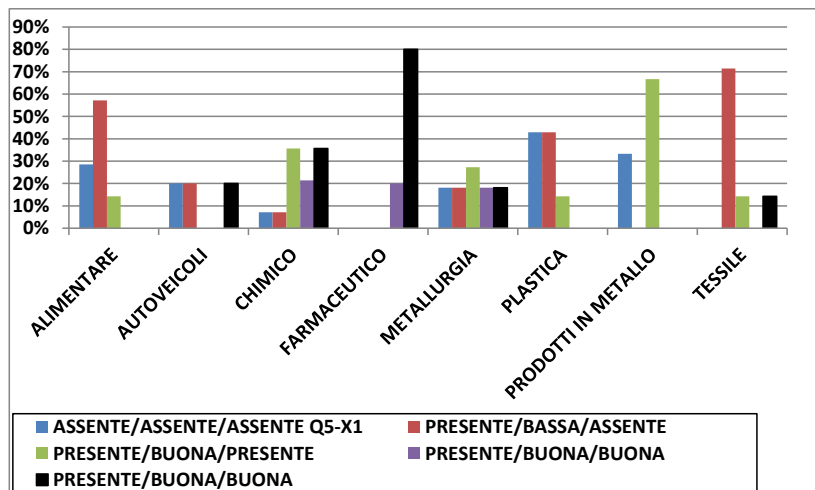


Figura 4.13. Indicatore χ_1 relativo alle risposte della domanda Q_5

- per l'indicatore $\chi_2 \Rightarrow$ le risposte coincidono con quelle del profilo χ_1 , poiché tutte le aziende hanno fornito solo una risposta e quindi, si ha che il numero di risposte coincide con il numero delle aziende intervistate, come rappresentato nella Figura 4.14.

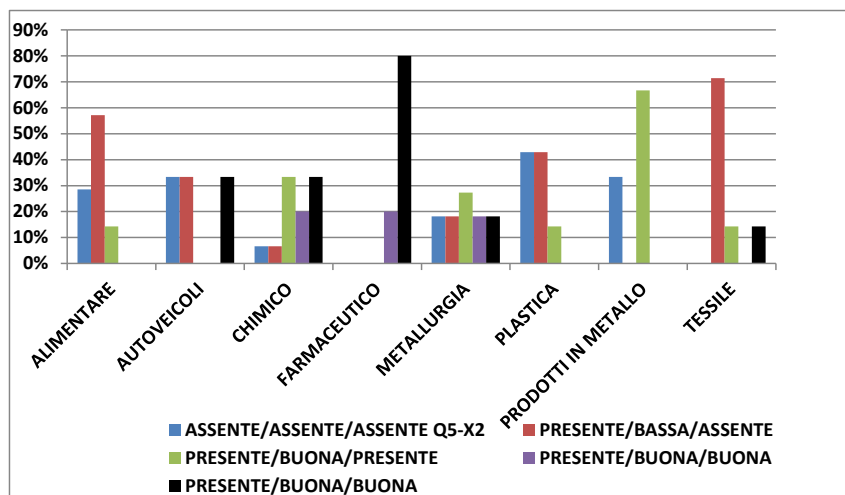


Figura 4.14. Indicatore χ_2 relativo alle risposte della domanda Q_5

- per l'indicatore $\zeta_1 \Rightarrow$ il numero di aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato nella Figura 4.15, così ripartito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (5%) riguarda il settore plastica, mentre, il minimo diverso da zero (2%) riguarda i settori chimico e autoveicoli ; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max riguarda il tessile (8%) mentre il minimo (2%) riguarda i settori chimico e autoveicoli ; nella risposta 3 (colore verde) il valore max riguarda il chimico (8%), mentre, il minimo diverso da zero (2%) riguarda i settori alimentare , plastica e il

tessile; nella risposta 4 (colore viola) il max riguarda il chimico (5%), mentre, il minimo diverso da zero (2%) riguarda i settori autoveicoli e tessile, nella risposta 5 (colore nero) il valore massimo riguarda il chimico (8%) e il minimo (2%) riguarda i settori autoveicoli e tessile .

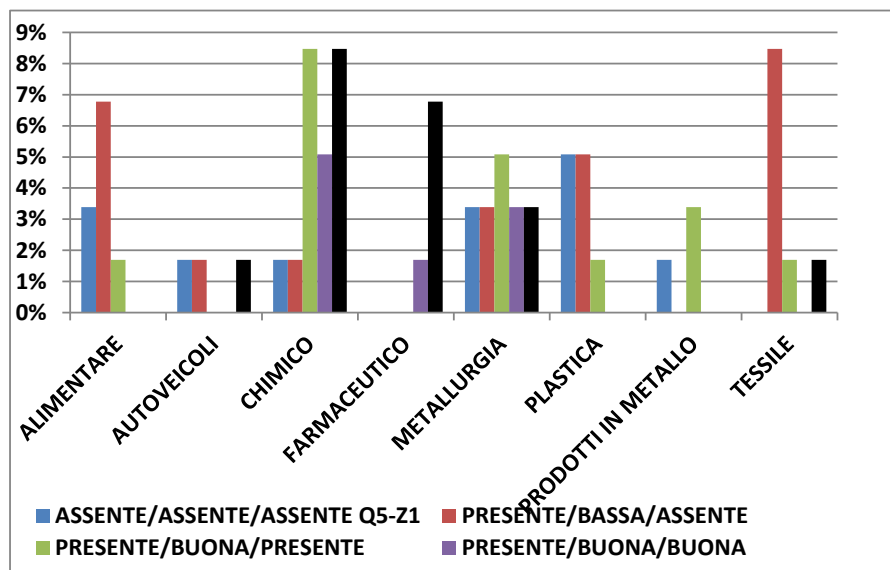


Figura 4.15. Indicatore ζ_1 relativo alle risposte della domanda Q_5

- per l'indicatore $\zeta_2 \Rightarrow$ il numero di aziende dichiarano di adottare un funzionamento come rappresentato nella Figura 4.16 e così ripartito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max riguarda il settore plastica (30%), mentre, il minimo diverso da zero (10%) riguarda i settori chimico, autoveicoli e prodotti in metallo; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max riguarda il tessile (31%), mentre, il minimo (6%) riguarda i settori chimico e autoveicoli ; nella risposta 3 (colore verde) il valore max riguarda il chimico (38%), mentre, il minimo diverso da zero (8%) riguarda i settori alimentare e tessile ; nella risposta 4 (colore viola) il valore max riguarda il chimico (50%) mentre il minimo diverso da zero riguarda il settore farmaceutico (7%), nella risposta 5 (colore nero) il valore massimo riguarda il chimico (38%) e valore minimo (8%) i settori autoveicoli e tessile.

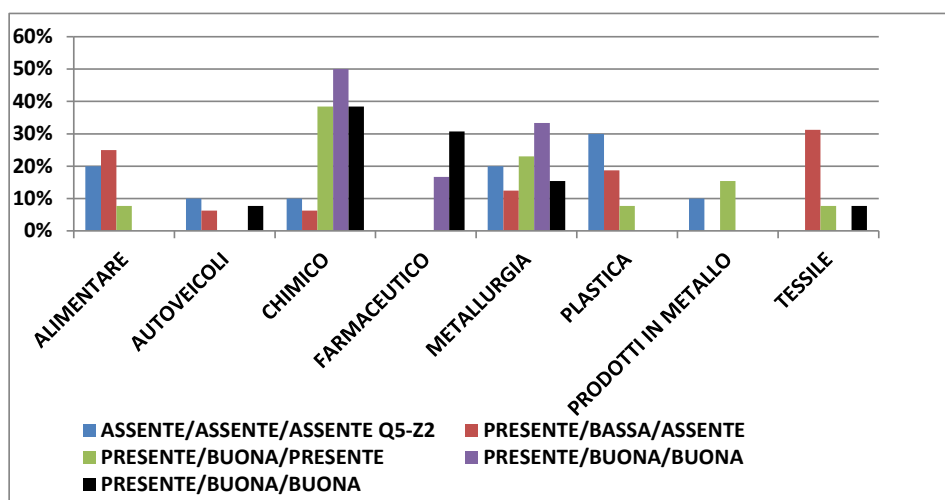


Figura 4.16. Indicatore ζ_2 relativo alle risposte della domanda Q_5

Si conclude che per tutti i quattro indicatori, si ha una distribuzione dei livelli più uniforme, con la differenza che, per alcuni settori, è presente il colore nero che indica un livello buono.

La domanda Q₆ prende in considerazione il piano di manutenzione dei compressori. Nella Tabella 4-8, per la domanda Q₆, sono riportati la rispondenza tra il colore e il livello della classe di intervento, ovvero, sono rappresentate le corrispondenze tra la risposta e il colore.

Tabella 4-8. Risposte alla domanda Q₆

| Per quanto riguarda la pianificazione della manutenzione dei compressori: |
|--|
| non esiste un piano di manutenzione per i compressori; |
| esiste un piano di manutenzione e sostituzione dei motori (ad es. interventi di pulizia e lubrificazione, di sostituzione cinghie o di sostituzione con motori a più alta efficienza), ma la pulizia dei filtri di ingresso e dei banchi di raffreddamento avviene al bisogno; |
| oltre alla manutenzione dei motori, il piano di manutenzione prevede anche periodiche attività di pulizia dei filtri di ingresso e dei banchi di raffreddamento; |
| la manutenzione dei motori e la pulizia dei filtri di ingresso e dei banchi di raffreddamento avviene ad intervalli di tempo regolari e la sua effettiva esecuzione ed efficacia viene controllata; |
| 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 (segnali deboli). |

Per gli indicatori, si rilevano le situazioni di seguito illustrate.

- per l'indicatore $\chi_1 \Rightarrow$ il numero di aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.17, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) i valori sono tutti nulli; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (29%) riguarda i settori plastica e alimentare, mentre, il minimo riguarda il settore chimico (7%); nella risposta 3 (colore verde) il valore max (57%) riguarda la plastica, mentre, il minimo diverso da zero riguarda il settore chimico (21%); nella risposta 4 (viola) il max (100%) riguarda i settori farmaceutico e tessile, mentre, il minimo diverso da zero riguarda il settore alimentare (29%), nella risposta 5 (colore nero) il valore massimo riguarda il chimico (21%) mentre il minimo è zero.

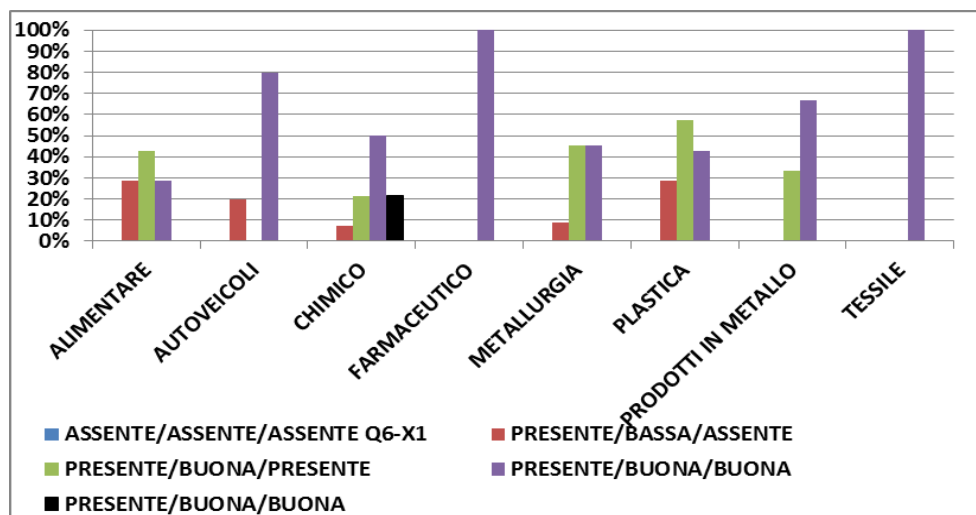


Figura 4.17. Indicatore χ_1 relativo alle risposte della domanda Q₆

- per l'indicatore $\chi_2 \Rightarrow$ il numero di aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.18, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) i valori sono tutti nulli; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max riguarda l'alimentare (29%), mentre, il minimo riguarda il settore chimico (7%); nella risposta 3 (colore verde) il valore max riguarda la metallurgia (45%), mentre, il minimo diverso da 0% riguarda il settore chimico (21%); nella risposta 4 (viola) il max (100%) riguarda i settori farmaceutico e tessile, mentre, il minimo diverso da zero riguarda il

settore alimentare (29%), nella risposta 5 (colore nero) il valore massimo riguarda il chimico (21%) mentre il minimo è zero.

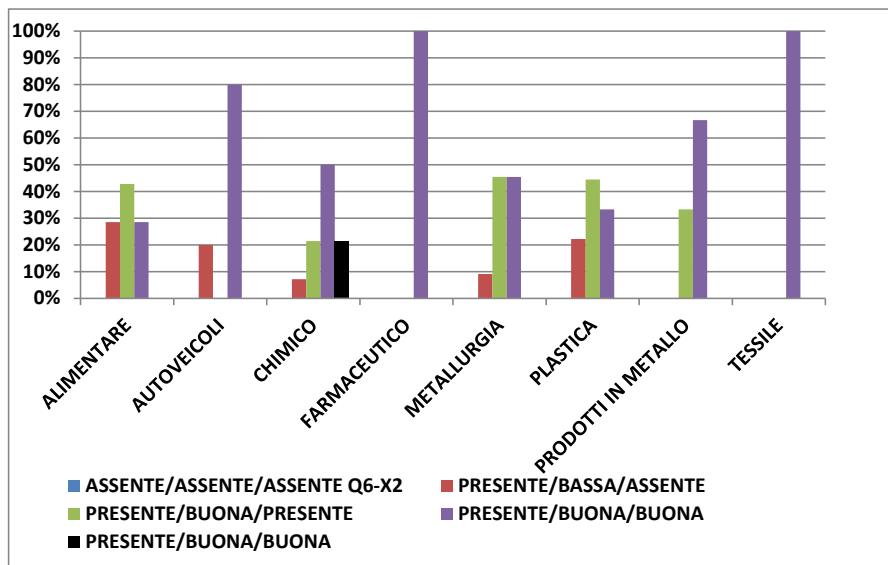


Figura 4.18. Indicatore χ_2 relativo alle risposte della domanda Q6

- per l'indicatore $\zeta_1 \Rightarrow$ il numero di aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.19, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) i valori sono tutti nulli; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (3%) riguarda i settori plastica e alimentare, mentre, il minimo (2%) riguarda i settori chimico, autoveicoli e metallurgia ; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (12%) riguarda i settori tessile e chimico, mentre, il minimo diverso da zero riguarda il settore prodotti in metallo (3%) ; nella risposta 4 (viola) il max (12%) riguarda i settori chimico e tessile, mentre, il minimo diverso da zero (3%) riguarda i settori alimentare e i prodotti in metallo, nella risposta 5 (colore nero) il valore massimo riguarda il chimico (5%) mentre il minimo è zero.

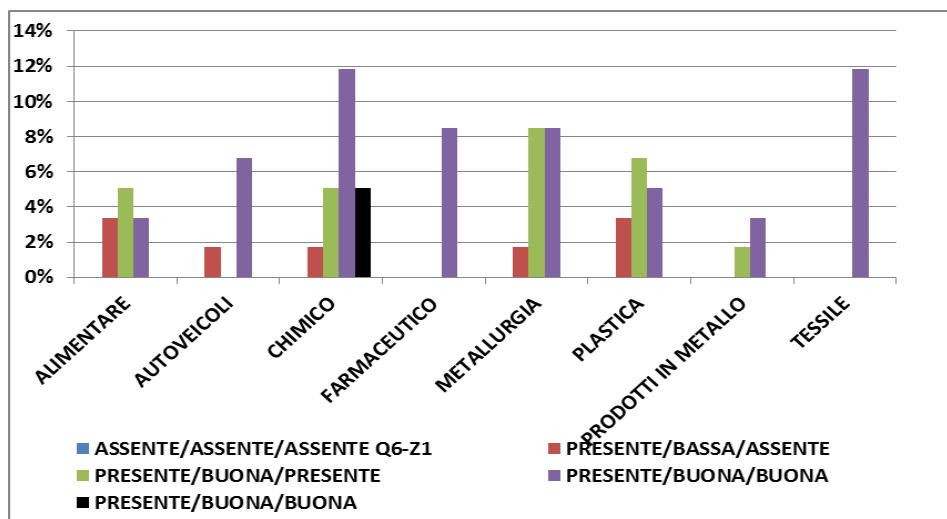


Figura 4.19. Indicatore ζ_1 relativo alle risposte della domanda Q6

- per l'indicatore $\zeta_2 \Rightarrow$ il numero di aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.20, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) i valori sono tutti nulli; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (29%) riguarda i settori plastica e alimentare, mentre, il minimo (14%) riguarda i settori chimico, autoveicoli, e metallurgia ; nella risposta 3 (colore verde) il

valore max riguarda la metallurgia (31%), mentre, il minimo diverso da zero riguarda il settore prodotti in metallo (6%) ; nella risposta 4 (viola) il max (20%) riguarda i settori chimico e tessile, mentre, il minimo diverso da zero (6%) riguarda i settori alimentare e i prodotti in metallo , nella risposta 5 (colore nero) il valore massimo riguarda il chimico (100%) mentre il minimo è zero.

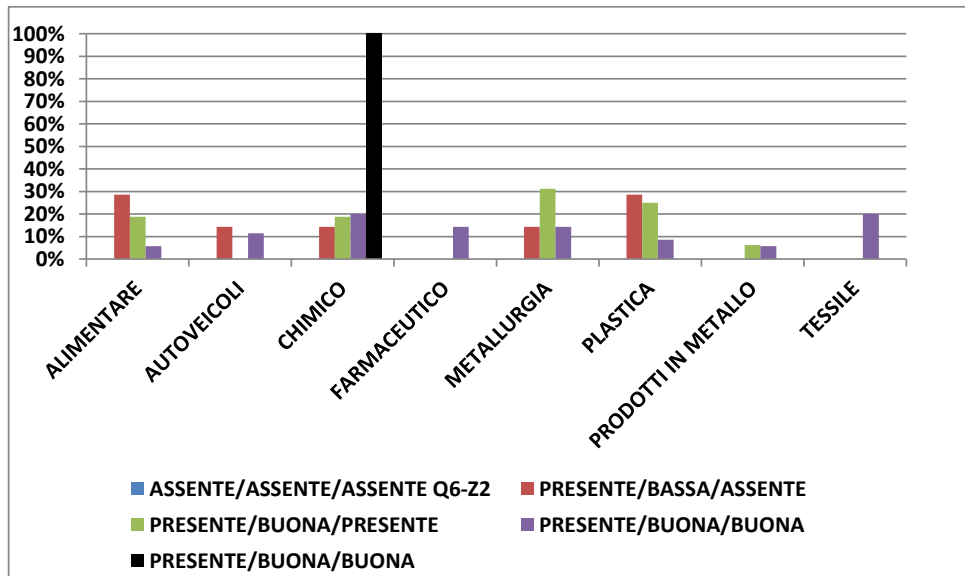


Figura 4.20. Indicatore c_2 relativo alle risposte della domanda Q_6

Si conclude che, per tutti i quattro indicatori, è assente il livello più basso rappresentato dal colore celeste, mentre invece, prevale la risposta viola a cui corrispondono i più alti livelli di qualità.

La domanda Q_7 prende in considerazione il sistema di regolazione dei compressori. Nella Tabella 4-9 , per la domanda Q_7 sono riportati la rispondenza tra il colore e il livello della classe di intervento, ovvero, sono rappresentate le corrispondenze tra la risposta e il colore.

Tabella 4-9. Risposte alla domanda Q_7

| Per quanto riguarda il sistema di regolazione dei compressori (on/off, vuoto/carico, inverter): |
|--|
| non è mai stato oggetto di studio e valutazioni; |
| è stato preso in considerazione come oggetto di studio 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; |
| l'inserimento del sistema di regolazione ad inverter sul compressore master è stato valutato sulla base di dati nominali; |
| l'inserimento del sistema di regolazione ad inverter sul compressore master è stato valutato sulla base di dati misurati; |
| il sistema è ottimizzato dal punto di vista della regolazione e l'efficienza del sistema di modulazione viene controllata nel tempo. |

Per gli indicatori, si rilevano le situazioni di seguito illustrate.

- per l'indicatore $\chi_1 \Rightarrow$ il numero di aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.21, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max riguarda i prodotti in metallo (33%), mentre, il minimo riguarda la metallurgia (9%); nella risposta 2 (colore rosso) il valore max riguarda il settore autoveicoli (20%) , mentre, il minimo riguarda il settore il chimico (7%) ; nella risposta 3 (colore verde) il valore max riguarda i prodotti in metallo (67%), mentre, il minimo diverso da 0% riguarda la metallurgia (9%) ; nella risposta 4 (viola) il max (43%)

riguarda i settori plastica e chimico, mentre, il minimo diverso da zero (20%) riguarda i settori autoveicoli e farmaceutico , nella risposta 5 (colore nero) il valore massimo riguarda il tessile (86%) mentre il minimo la plastica (14%).

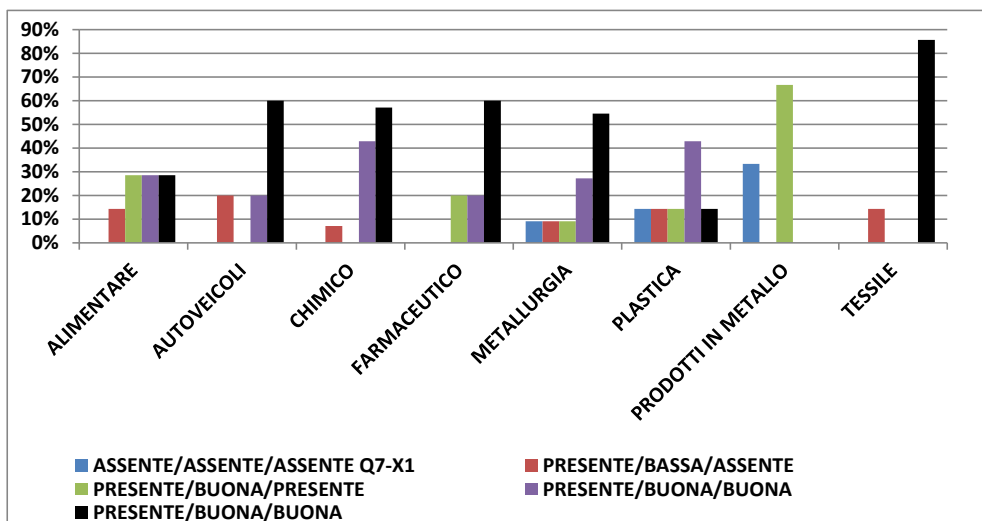


Figura 4.21. Indicatore χ_1 relativo alle risposte della domanda Q₇

- per l'indicatore $\chi_2 \Rightarrow$ il numero di aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.22, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max riguarda i prodotti in metallo (33%) e il min la metallurgia (8%); nella risposta 2 (colore rosso) il valore max riguarda gli autoveicoli (20%), mentre, il minimo riguarda il settore chimico (7%); nella risposta 3 (colore verde) il valore max riguarda i prodotti in metallo (67%), mentre, il minimo diverso da zero riguarda il settore della metallurgia (8%) ; nella risposta 4 (viola) il max riguarda la plastica (43%), mentre, il minimo diverso da zero (20%) riguarda i settori autoveicoli e farmaceutico , nella risposta 5 (colore nero) il valore massimo riguarda il tessile (86%), mentre, il minimo riguarda la plastica (14%).

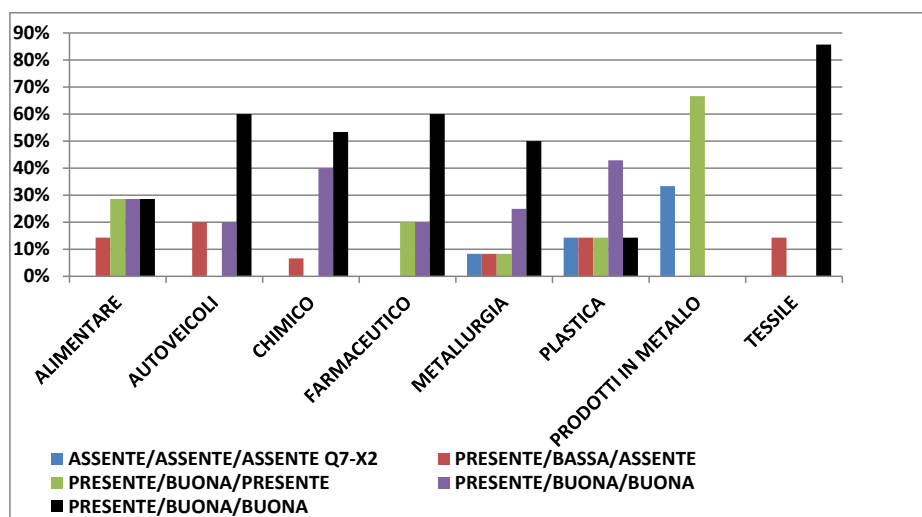


Figura 4.22. Indicatore χ_2 relativo alle risposte della domanda Q₇

- per l'indicatore $\zeta_1 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.23, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (2%) riguarda i prodotti in metallo , metallurgia e plastica, mentre, il min è nullo per tutti; nella risposta 2 (colore rosso) il

valore max (2%) riguardai settori plastica, alimentare, autoveicoli, chimico, metallurgia e tessil, mentre, il minimo assume valori nulli; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (3%) riguarda i settori prodotti in metallo e alimentare, mentre il minimo diverso da zero (2%) riguarda i settori plastica, metallurgia e farmaceutico; nella risposta 4 (viola) il max riguarda il chimico (10%) , mentre, il minimo diverso da zero (2%) riguarda i settori autoveicoli e farmaceutico , nella risposta 5 (colore nero) il valore massimo riguarda il chimico (14%) mentre il minimo riguarda la plastica (2%).

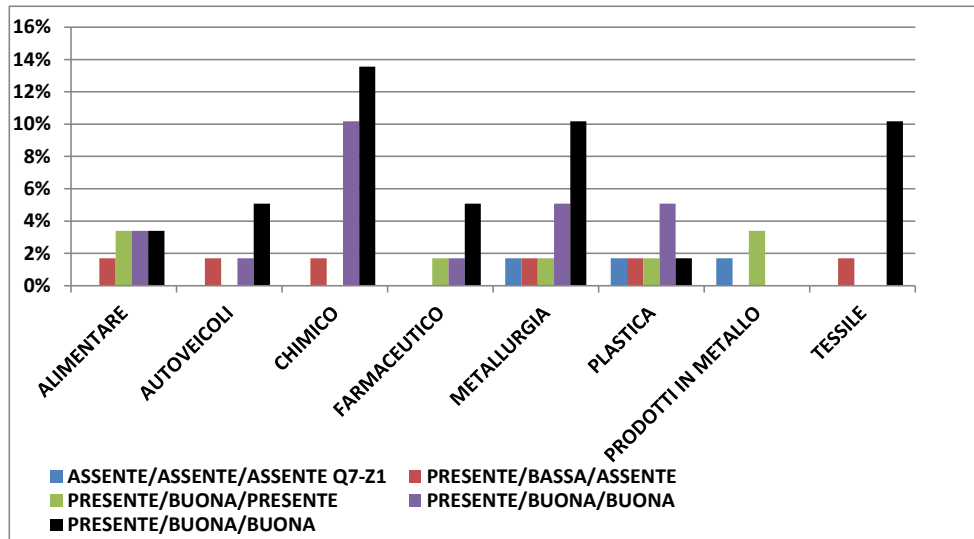


Figura 4.23. Indicatore ζ_1 relativo alle risposte della domanda Q_7

- per l'indicatore $\zeta_2 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.24,così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (33%) riguarda i settori prodotti in metallo , plastica e metallurgia, mentre, il min è nullo; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (17%) riguarda i settori alimentare, autoveicoli, chimico, metallurgia, plastica e tessile, mentre, il minimo è nullo; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (29%) riguarda i settori prodotti in metallo e alimentare, mentre, il minimo diverso da zero (14%) riguarda i settori metallurgia, farmaceutico e plastica ; nella risposta 4 (viola) il max riguarda il chimico (38%), mentre, il minimo diverso da zero riguarda il settore farmaceutico (6%) , nella risposta 5 (colore nero) il valore massimo riguarda il chimico (28%) mentre il minimo riguarda la plastica (3%).

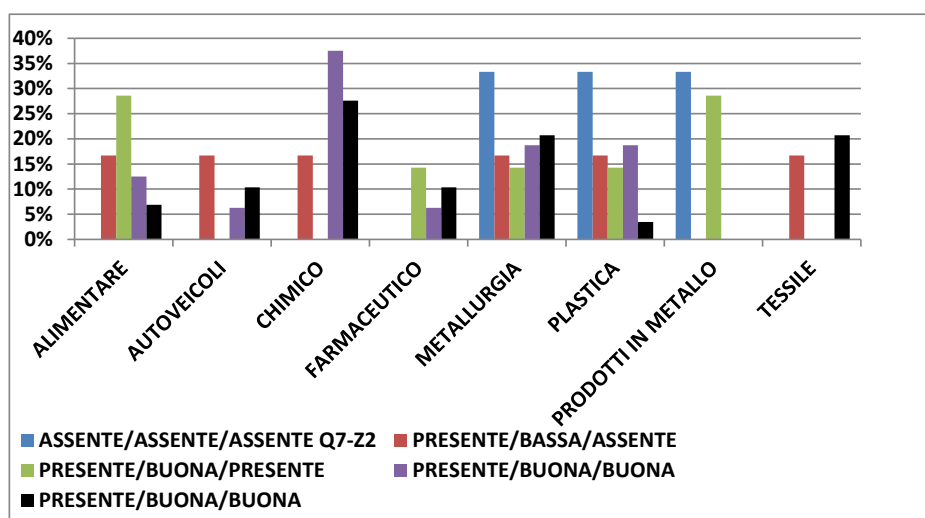


Figura 4.24. Indicatore ζ_2 relativo alle risposte della domanda Q_7

Si conclude che, per tutti i quattro indicatori, prevalgono i colori viola e nero che rappresentano i livelli di qualità più alti.

La domanda Q8 prende in considerazione, le cadute di pressione nella rete di distribuzione Nella Tabella 4-10 per la domanda Q7, sono riportati la rispondenza tra il colore e il livello della classe di intervento, ovvero, sono rappresentate le corrispondenze tra la risposta e il colore.

Tabella 4-10. Risposte alla domanda Q8

| Le cadute di pressione nell'impianto di distribuzione dell'aria compressa: |
|---|
| non sono mai state misurate; |
| l'entità delle cadute di pressione è nota e sono stati pianificati alcuni interventi di correzione più immediati e a basso costo (manutenzione periodica dei filtri, sostituzione di altre connessioni con saldature, ecc.); |
| l'entità delle cadute di pressione è nota e sono stati realizzati quasi tutti gli interventi di correzione più immediati e a basso costo e pianificati alcuni degli interventi più importanti (verifica del corretto dimensionamento dei tubi ed eventuale sostituzione, acquisto manometri per la manutenzione su condizione dei filtri, correzione della forma della rete per evitare curve); |
| sono stati pianificati anche tutti gli interventi più importanti e si è incominciato ad implementarne qualcuno; |
| la rete è ottimizzata per la minimizzazione delle perdite di pressione. |

Per gli indicatori, si rilevano le situazioni di seguito illustrate.

- per l'indicatore $\chi_1 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.25, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max riguarda l'alimentare (86%), mentre, il minimo riguarda il farmaceutico (20%); nella risposta 2 (colore rosso) il valore max riguarda i prodotti in metallo (67%), mentre, il minimo riguarda il settore il chimico (14%) ; nella risposta 3 (colore verde) il valore max riguarda il tessile (29%), mentre, il minimo diverso da zero (14%) riguarda i settori di plastica e alimentare ; nella risposta 4 (viola) il max riguarda chimico (21%), mentre, il minimo diverso da zero riguarda la metallurgia (9%), nella risposta 5 (colore nero) il valore massimo riguarda il tessile (43%) mentre il minimo il settore autoveicoli (20%).

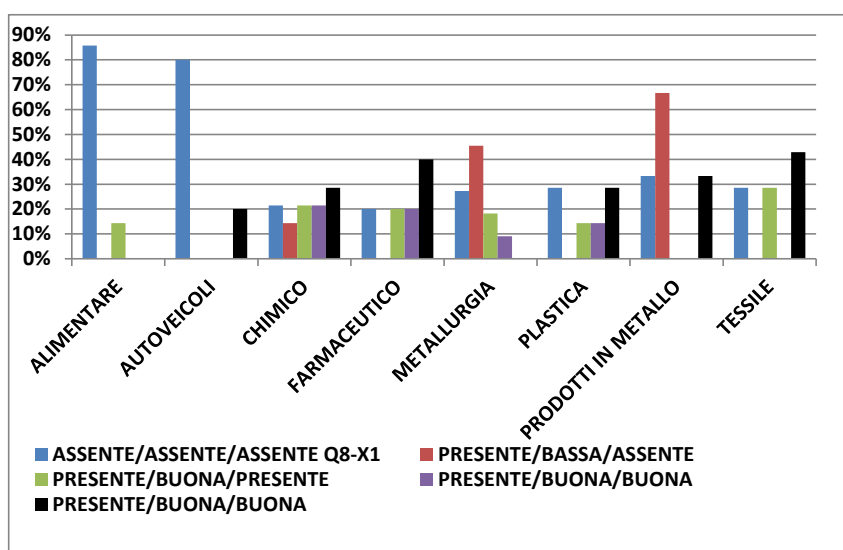


Figura 4.25. Indicatore χ_1 relativo alle risposte della domanda Q8

- per l'indicatore $\chi_2 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.26, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max riguarda l'alimentare (86%) e

il min (20%) i settori chimico e farmaceutico ; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max riguarda i prodotti in metallo (50%), mentre, il minimo riguarda il settore chimico (13%); nella risposta 3 (colore verde) il valore max riguarda il tessile (29%), mentre, il minimo diverso da zero riguarda il settore alimentare (14%) ; nella risposta 4 (viola) il max (20%) riguarda i settori chimico e farmaceutico, mentre, il minimo diverso da zero riguarda la metallurgia (9%), nella risposta 5 (colore nero) il valore massimo riguarda il tessile (43%), mentre, il minimo riguarda il settore autoveicoli (20%).

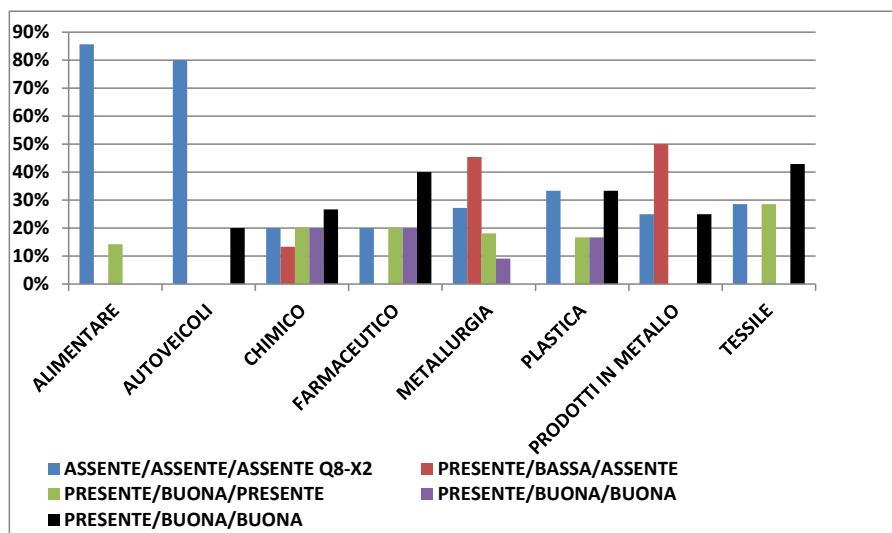


Figura 4.26. Indicatore χ_2 relativo alle risposte della domanda Q_8

- per l'indicatore $\zeta_1 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.27, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max riguarda l'alimentare (10%) mentre il min (2%) riguarda il farmaceutico e i prodotti in metallo; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max riguarda la metallurgia (8%), mentre, il minimo diverso da zero (3%) riguarda i settori chimico e i prodotti in metallo; nella risposta 3 (colore verde) il valore max riguarda il chimico (5%), mentre, il minimo diverso da zero (2%) riguarda i settori plastica, alimentare e farmaceutico ; nella risposta 4 (viola) il max riguarda il chimico (5%), mentre, il minimo diverso da zero (2%) riguarda i settori di metallurgia, plastica e farmaceutico, nella risposta 5 (colore nero) il valore massimo riguarda il chimico (7%), mentre, il minimo riguarda il settore autoveicoli (2%).

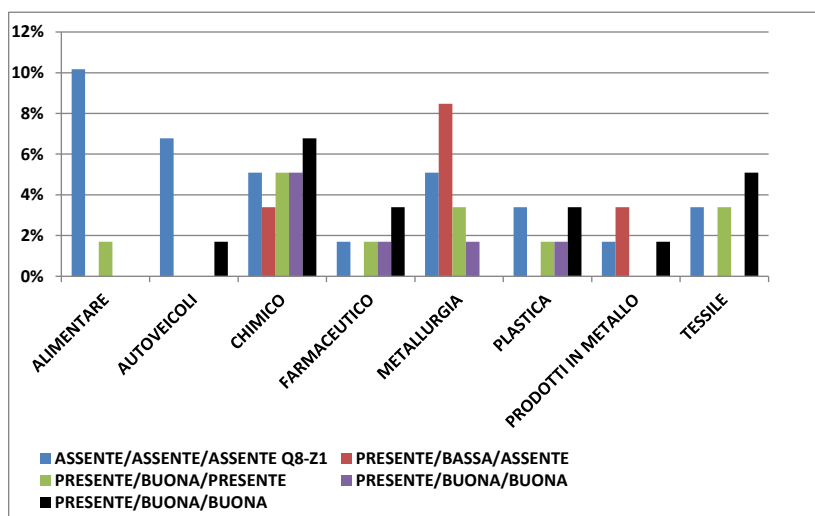


Figura 4.27. Indicatore ζ_1 relativo alle risposte della domanda Q_8

- per l'indicatore $\zeta_2 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.28, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max riguarda il settore alimentare (27%) mentre il min diverso da zero (5%) riguarda i settori farmaceutico e prodotti in metallo; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max riguarda la metallurgia (56%), mentre, il minimo diverso da zero (22%), riguarda i settori chimico e i prodotti in metallo; nella risposta 3 (colore verde) il valore max riguarda il chimico (30%), mentre, il minimo diverso da zero (10%) riguarda il settore alimentare, farmaceutico e plastica; nella risposta 4 (viola) il max riguarda il chimico (50%), mentre, il minimo diverso da zero (17%) riguarda i settori farmaceutico , metallurgia e plastica , nella risposta 5 (colore nero) il valore massimo riguarda il chimico (31%), mentre, il minimo (8%) riguarda i settori prodotti in metallo e autoveicoli .

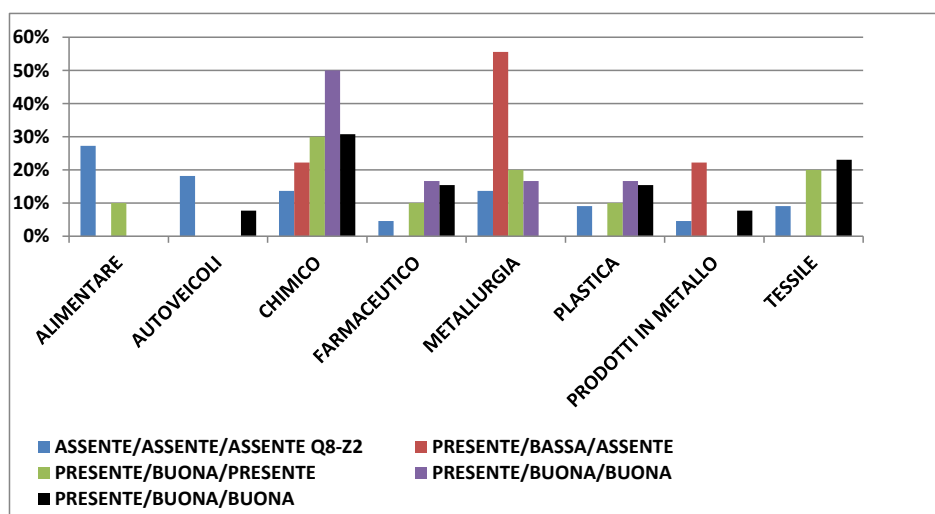


Figura 4.28. Indicatore ζ_2 relativo alle risposte della domanda Q₈

Si conclude che per tutti i quattro indicatori, si verifica una situazione *estrema* rappresentata dai livelli celeste e nero.

4.2 Profilo gestionale

Le indagini sono state effettuate, per ogni profilo considerato, in particolare, sono state esaminate le risposte ad ogni domanda del questionario. Per quanto riguarda il profilo funzionale, che risulta , costituito dalle domande Q1, Q2, Q3, Q4, Q12 si riportano gli andamenti relativi ai quattro indici nelle Figura 4.29, Figura 4.30, Figura 4.31, e Figura 4.32.

A riguardo, la domanda Q1 prende in considerazione la pianificazione e fattibilità di audit energetici per i CAS's. Nella Tabella 4-11, per la domanda Q1 sono riportati la rispondenza tra il colore e il livello della classe di intervento, ovvero, sono rappresentate le corrispondenze tra la risposta e il colore.

Tabella 4-11. Risposte alla domanda Q₁

| L'efficiamento energetico del sistema aria compressa dei processi produttivi all'interno dell'azienda |
|---|
| non è stato mai pianificato |
| è stato pianificato ma non intrapreso |
| è stato intrapreso solo di recente |
| è una procedura consolidata e le opportunità vengono ricercate sistematicamente |

Per gli indicatori, si rilevano le situazioni di seguito illustrate.

- per l'indicatore $\chi_1 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.29, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (29%) riguarda i settori tessile e plastica, mentre, il minimo (7%) riguarda il chimico; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (29%) la plastica mentre il minimo (14%) riguarda i settori chimico e alimentare; nella risposta 3 (colore verde) il valore max riguarda l'alimentare (43%), mentre, il minimo (20%) diverso da zero riguarda il settore autoveicoli; nella risposta 4 (viola) il max (80%) riguarda il farmaceutico mentre il minimo (14%) diverso da zero riguarda la plastica.

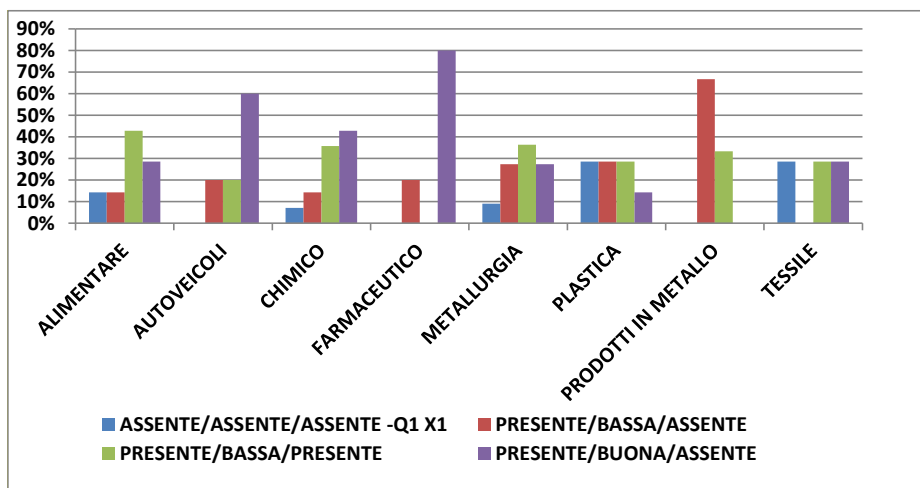


Figura 4.29. Indicatore χ_1 relativo alle risposte della domanda Q_1

- per l'indicatore $\chi_2 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.30, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max riguarda i prodotti in metallo (33%), mentre, il minimo (7%) diverso da zero riguarda il chimico; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (67%) riguarda i prodotti in metallo, mentre, il minimo (14%) riguarda i settori chimico e alimentare; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (43%) riguarda il settore alimentare, mentre, il minimo diverso da zero riguarda il settore autoveicoli (20%); nella risposta 4 (viola) il max (80%) riguarda il farmaceutico, mentre, il minimo diverso da zero (14%) riguarda il settore plastica.

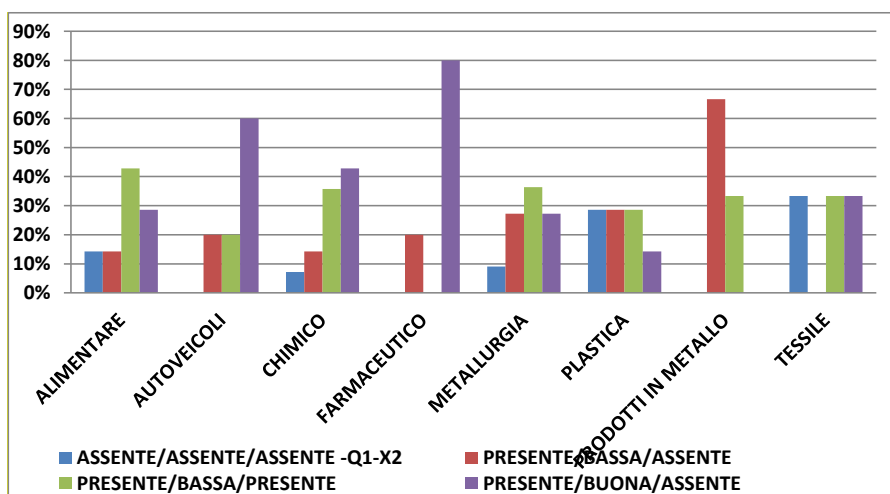


Figura 4.30. Indicatore χ_2 relativo alle risposte della domanda Q_1

- per l'indicatore $\zeta_1 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato Figura 4.31, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (3%) riguarda i settori tessile e plastica, mentre, il minimo (2%) diverso da zero riguarda i settori alimentare, chimico e metallurgia; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max(5%) riguarda la metallurgia, mentre, il minimo (2%) diverso da 0% riguarda i settori alimentare e autoveicoli; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (8%) riguarda il chimico, mentre, il minimo diverso (2%) riguarda i settori autoveicoli e prodotti in metallo; nella risposta 4 (viola) il max riguarda il chimico (10%) e mentre il minimo (2%) diverso da 0% riguarda la plastica.

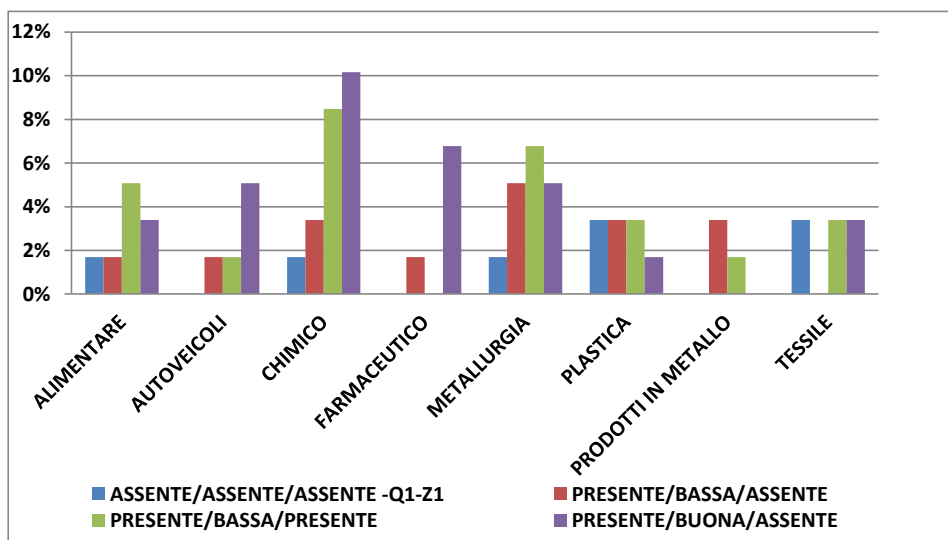


Figura 4.31. Indicatore ζ_1 relativo alle risposte della domanda Q₁

- per l'indicatore $\zeta_2 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.32, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (29%) riguarda il settore tessile e la plastica, mentre, il min (14%) diverso da zero per i settori alimentare, chimico e metallurgia; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (25%) riguarda metallurgia, mentre, il minimo (8%) diverso da zero, riguarda i settori alimentare, autoveicoli e farmaceutico; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (28%) riguarda il chimico, mentre, il minimo (6%) diverso da zero, riguarda i settori prodotti in metallo e autoveicoli ; nella risposta 4 (viola) il max (29%) riguarda i settori chimico e alimentare, mentre, il minimo (5%) diverso da zero riguarda il settore della plastica.

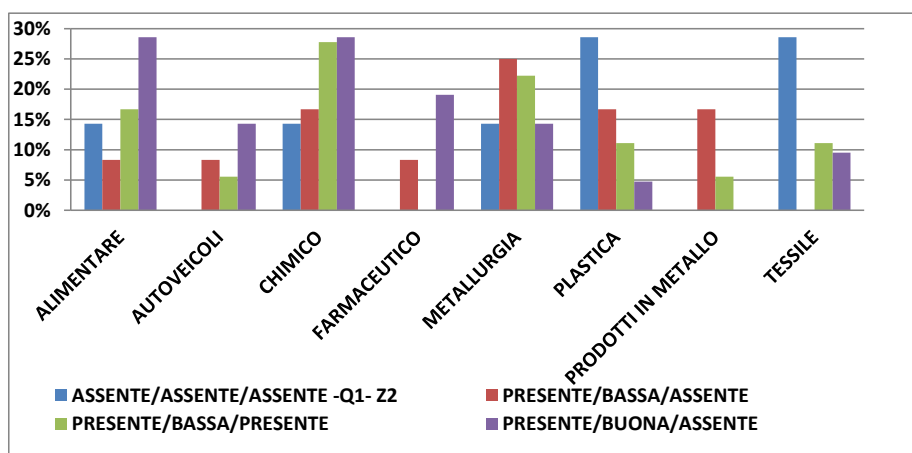


Figura 4.32. Indicatore ζ_2 relativo alle risposte della domanda Q₁

Si conclude che, per tutti i quattro indicatori, si ha una situazione di livello mediocre. Nella Tabella 4-12, per la domanda Q2, sono riportati la rispondenza tra il colore e il livello della classe di intervento, ovvero, sono rappresentate le corrispondenze tra la risposta e il colore.

Tabella 4-12. Risposte alla domanda Q₂

| |
|---|
| Diagnosi sistematiche e documentate dell'impianto aria compressa, finalizzate all'individuazione di opportunità di risparmio energetico (audit energetici) condotte anche attraverso l'analisi di dati disponibili e sopralluoghi che possono prevedere anche campagne di misura |
| non sono mai state effettuate |
| sono state condotte in passato ma in maniera non adeguata o senza portare a miglioramenti significativi nel medio periodo |
| sono state condotte in passato ma in maniera non adeguata o senza portare a miglioramenti significativi nel medio periodo |
| ne è stata effettuata una di recente e si stanno implementando le opportunità di efficientamento individuate sulla base della loro priorità |
| vengono condotte periodicamente individuando un piano di opportunità di risparmio energetico che vengono successivamente valutate ed eventualmente implementate |

Per gli indicatori, si rilevano le situazioni di seguito illustrate.

- per l'indicatore $\chi_1 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.33, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (29%) riguarda la plastica, mentre, il minimo (7%) riguarda il settore chimico; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (33%) riguarda i prodotti in metallo, mentre, il minimo (9%) riguarda il settore metallurgia; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (60%) riguarda il settore autoveicoli, mentre, il minimo (14%) diverso da zero, riguarda i settori tessile e alimentare; nella risposta 4 (viola) il max (60%) riguarda il farmaceutico mentre il minimo (20%) riguarda il settore autoveicoli; nella risposta 5 (nero) il max (43%) riguarda il settore tessile, mentre, il minimo (20%) riguarda il settore autoveicoli.

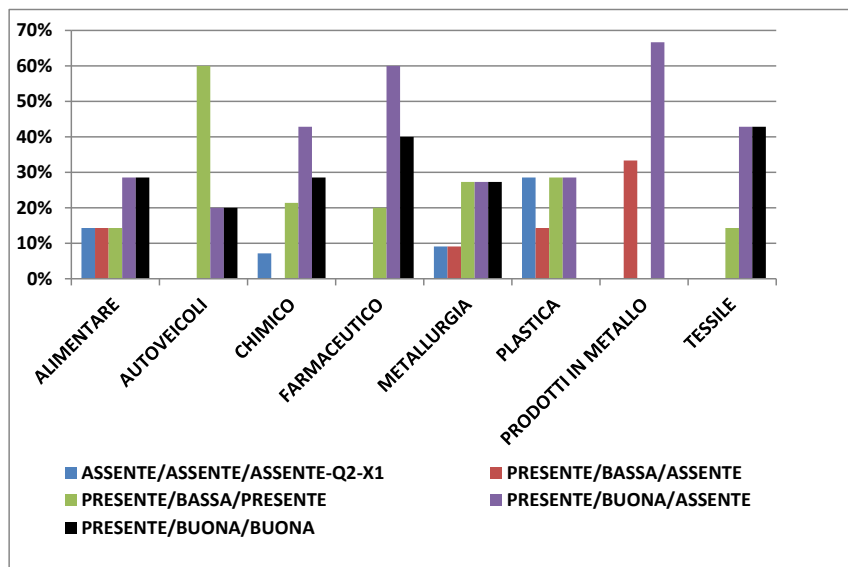


Figura 4.33. Indicatore χ_1 relativo alle risposte della domanda Q₂

- Per l'indicatore $\chi_2 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.34, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (29%) riguarda la plastica, mentre, il minimo (7%) riguarda il chimico; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (33%) riguarda i prodotti in metallo, mentre, il minimo (9%) riguarda il settore metallurgia; nella risposta

3 (colore verde) il valore max (60%) riguarda il settore autoveicoli, mentre, il minimo (14%) diverso da zero riguarda i settori tessile e alimentare; nella risposta 4 (viola) il max (67%) riguarda il settore prodotti in metallo, mentre, il minimo (20%) diverso da zero riguarda il settore autoveicoli; nella risposta 5 (nero) il max (43%) riguarda il settore tessile, mentre, il minimo (20%) diverso da zero riguarda il settore autoveicoli.

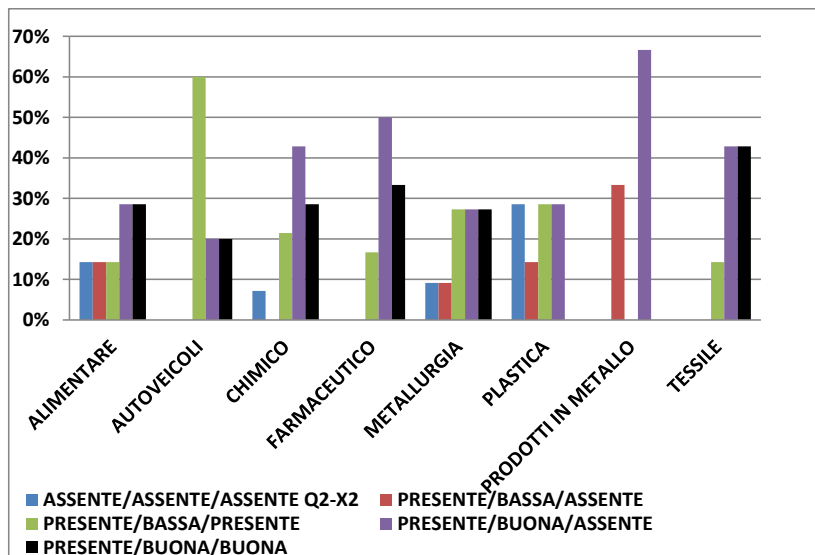


Figura 4.34. Indicatore χ_2 relativo alle risposte della domanda Q₂

- per l'indicatore $\zeta_1 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.35, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (3%) riguarda la plastica, mentre, il minimo (2%) riguarda i settori chimico, metallurgia e alimentare; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (2%) riguarda i settori prodotti in metallo, plastica, metallurgia e alimentare, mentre, il minimo (0%) riguarda gli altri settori; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (2%) riguarda i settori i prodotti in metallo, plastica, metallurgia e alimentare, mentre, il minimo (0%) riguarda gli altri settori; nella risposta 4 (viola) il max (5%) riguarda i settori chimico, metallurgia e autoveicoli, mentre, il minimo (2%) diverso da zero riguarda i settori tessile e farmaceutico; nella risposta 5 (nero) il max (10%) riguarda il settore chimico, mentre, il minimo (2%) diverso da zero riguarda il settore autoveicoli.

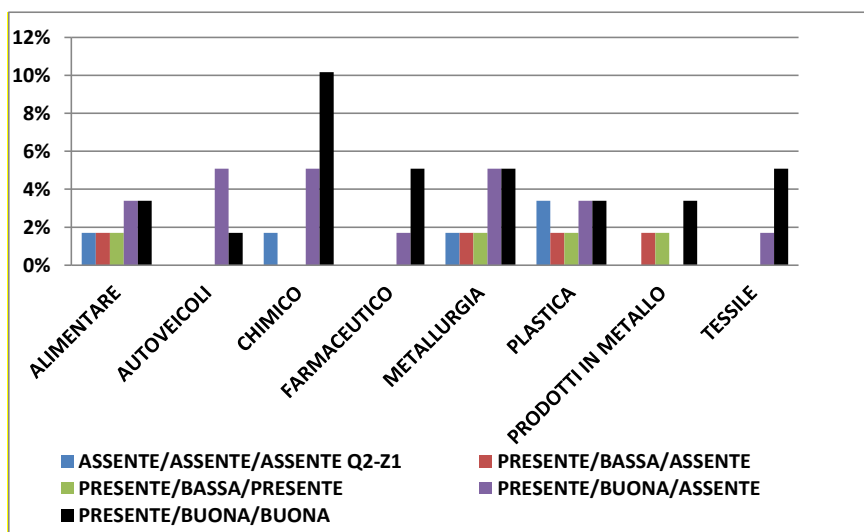


Figura 4.35. Indicatore ζ_1 relativo alle risposte della domanda Q₂

- per l'indicatore $\zeta_2 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.36, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (40%) riguarda la plastica, mentre, il minimo (20%) riguarda i settori chimico, metallurgia e alimentare; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (25%) riguarda i settori prodotti in metallo, plastica, metallurgia, mentre, il minimo (0%) riguarda tutti gli altri settori ; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (21%) riguarda i settori autoveicoli, chimico e metallurgia, mentre, il minimo (7%) diverso da zero riguarda i settori farmaceutico, tessile e alimentare; nella risposta 4 (viola) il max (27%) riguarda il chimico, mentre, il minimo (7%) riguarda il settore autoveicoli.

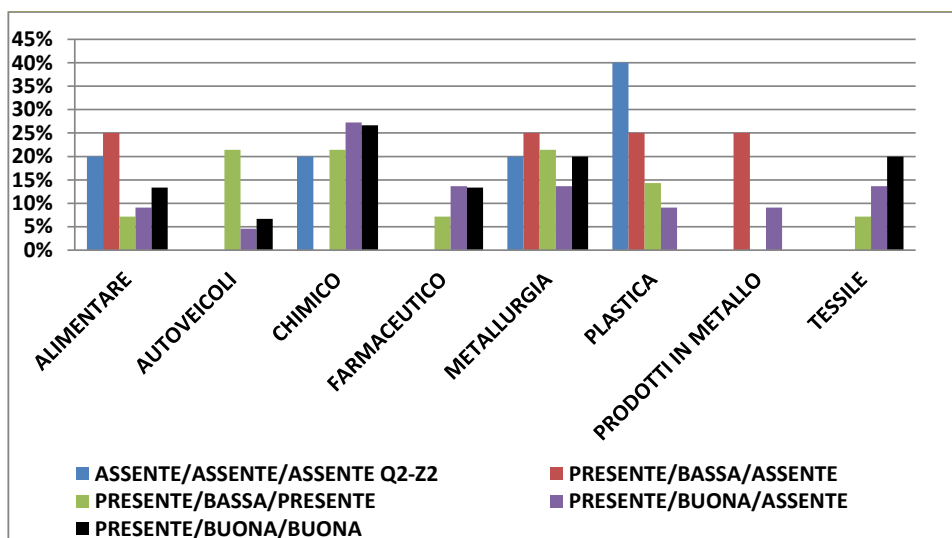


Figura 4.36. Indicatore ζ_2 relativo alle risposte della domanda Q_2

Si conclude che per tutti i quattro indicatori, si ha una situazione di livello medio.

Nella Tabella 4-13 per la domanda Q_3 , relativa agli usi impropri dell'aria compressa, sono riportati la rispondenza tra il colore e il livello della classe di intervento, ovvero, sono rappresentate le corrispondenze tra la risposta e il colore.

Tabella 4-13. Risposte alla domanda Q_3

| Per quanto riguarda gli usi impropri dell'aria compressa: |
|--|
| non sono mai stati identificati; |
| gli operatori sono stati informati riguardo le corrette modalità operative e la necessità di spegnere le apparecchiature non in uso ma il loro operato in tal senso non viene verificato; |
| esistono e sono diffuse delle apposite procedure di accensione e spegnimento nonché di corretto utilizzo delle apparecchiature che usano aria compressa e la loro applicazione viene periodicamente verificata attraverso ispezioni interne; |
| esistono e sono verificate le procedure di cui al punto precedente e sono stati individuati gli usi per i quali è conveniente sostituire l'aria compressa con un altro vettore (ad es. preferendo blower a bassa pressione per applicazioni quali lame ad aria, postole ad aria, ecc.); |
| esistono e sono verificate le procedure di cui al punto precedente, sono stati individuati e sostituiti gli usi impropri dell'aria compressa (ad es. preferendo blower a bassa pressione per applicazioni quali lame ad aria, postole ad aria, ecc.) ed esistono specifiche o checklist di progettazione per evitare che ne vengano introdotti di nuovi. |

Per gli indicatori, si rilevano le situazioni di seguito illustrate.

- per l'indicatore $\chi_1 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.37 , così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (43%) riguarda la plastica, mentre, il minimo (7%) riguarda il settore alimentare; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (82%) riguarda la metallurgia, mentre, il minimo (40%) riguarda il settore autoveicoli; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (40%) riguarda il settore autoveicoli, mentre, il minimo (14%) riguarda il settore alimentare; nella risposta 4 (viola) il max (29%) riguarda alimentare, mentre, il minimo (20%) diverso da zero riguarda il settore autoveicoli; nella risposta 5 (nero) sono nulli per tutti i settori.

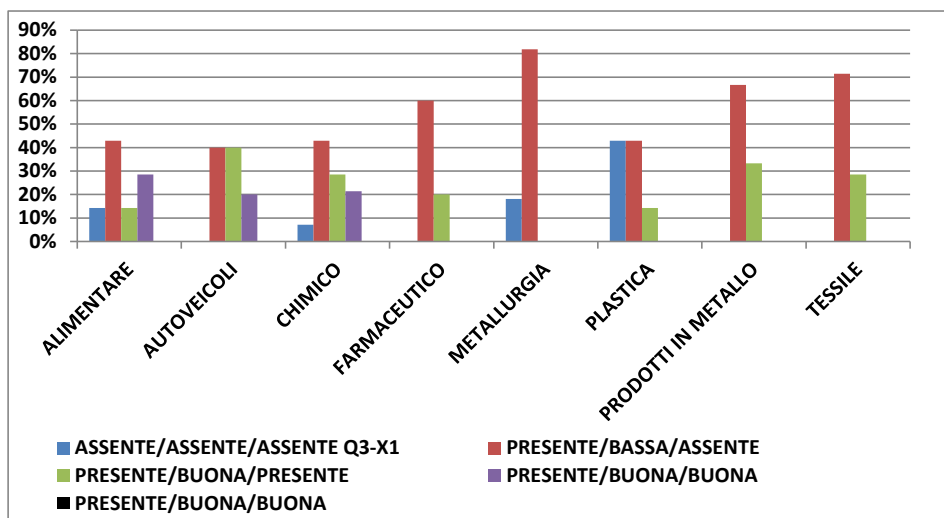


Figura 4.37. Indicatore χ_1 relativo alle risposte della domanda Q3

- per l'indicatore $\chi_2 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.38, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (43%) riguarda la plastica, mentre, il minimo (7%) riguarda il chimico; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (82%) riguarda la metallurgia, mentre, il minimo (40%) riguarda il settore autoveicoli ; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (40%) riguarda il settore autoveicoli, mentre, il minimo (14%) diverso da zero riguarda i settori di plastica e alimentare; nella risposta 4 (viola) il max (29%) riguarda il settore alimentare, mentre, il minimo (20%) diverso da zero riguarda il settore autoveicoli; nella risposta 5 (nero) è nullo per tutti i settori.

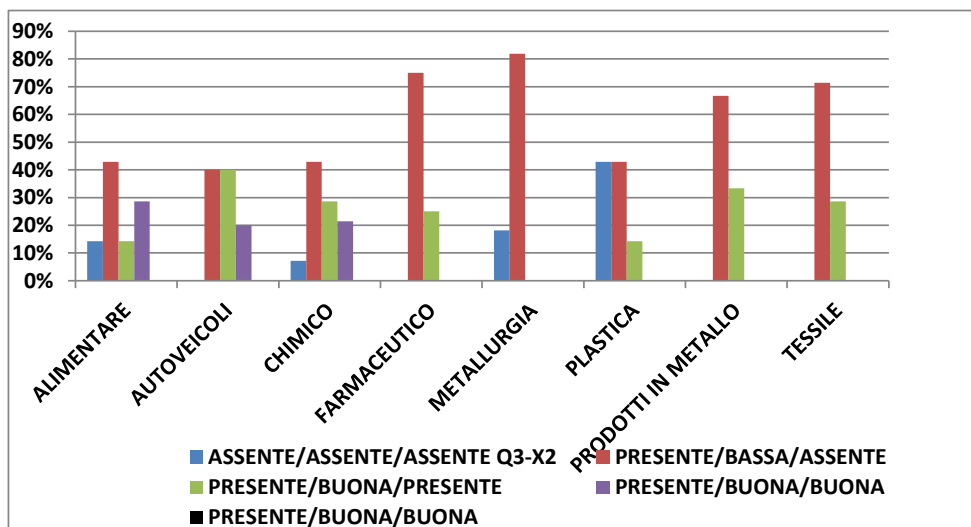


Figura 4.38. Indicatore χ_2 relativo alle risposte della domanda Q3

- per l'indicatore $\zeta_1 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.39, così definito: risposta 1 (colore celeste) il valore max (5%) riguarda la plastica, mentre, il minimo (2%) riguarda i settori chimico e alimentare; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (15%) riguarda la metallurgia, mentre, il minimo (3%) riguarda i settori prodotti in metallo e autoveicoli; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (7%) riguarda il settore chimico, mentre, il minimo (2%) riguarda i settori alimentare, farmaceutico, plastica e prodotti in metallo; nella risposta 4 (viola) il max (5%) riguarda il chimico, mentre, il minimo (2%) diverso da zero riguarda il settore autoveicoli; nella risposta 5 (nero) è nullo per tutti i settori.

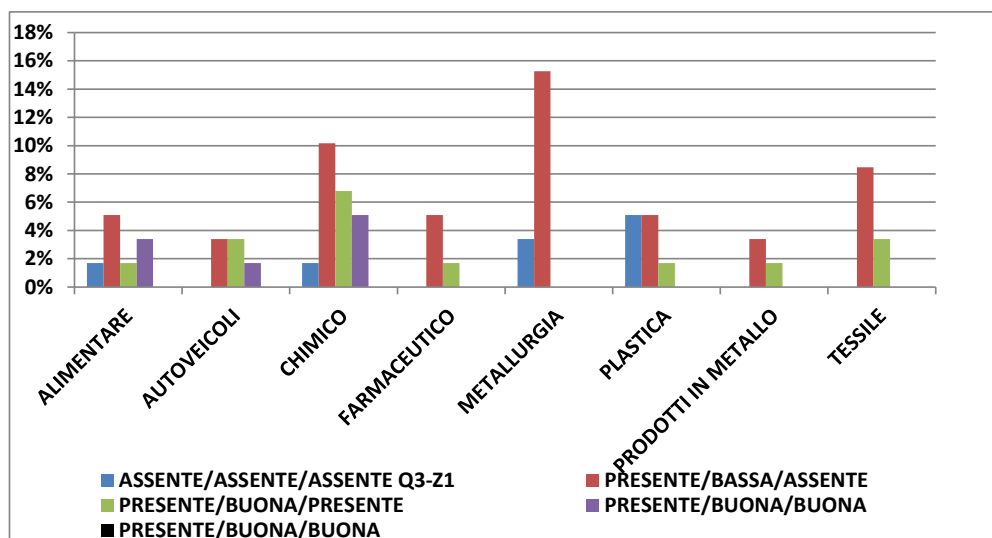


Figura 4.39. Indicatore ζ_1 relativo alle risposte della domanda Q_3

- per l'indicatore $\zeta_2 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.40, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (43%) riguarda la plastica, mentre, il minimo (14%) riguarda i settori chimico e alimentare; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (27%) riguarda metallurgia, mentre, il minimo (6%) riguarda i settori autoveicoli e i prodotti in metallo; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (33%) riguarda il chimico, mentre, il minimo (8%) riguarda i settori farmaceutico, alimentare, prodotti in metallo e plastica; nella risposta 4 (viola) il max (50%) riguarda il chimico, mentre, il minimo (17%) riguarda il settore autoveicoli; nella risposta 5 (nero) è nullo per tutti i settori.

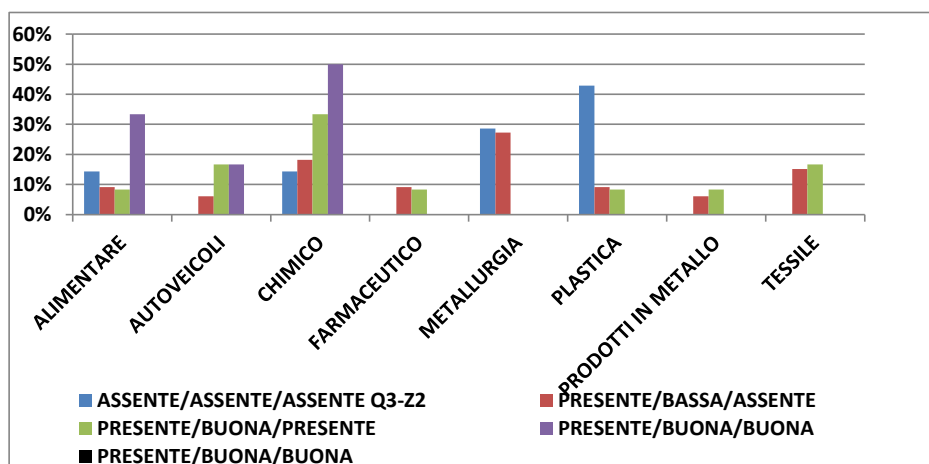


Figura 4.40. Indicatore ζ_2 relativo alle risposte della domanda Q_3

Si conclude che per tutti i quattro indicatori, prevale la risposta di colore rosso che corrisponde a un livello basso.

Nella Tabella 4-14, per la domanda Q₄, relativa alla portata dell'aria compressa e relative grandezze monitorate, sono riportati la rispondenza tra il colore e il livello della classe di intervento, ovvero, sono rappresentate le corrispondenze tra la risposta e il colore.

Tabella 4-14. Risposte alla domanda Q₄

| |
|--|
| Applicazioni di sistemi che determinano le quantità di aria compressa prodotta e/o utilizzata (definizione ed utilizzo di un piano di misura che individui le grandezze da misurare, la frequenza di misurazione e gli strumenti di misura) : |
| non sono stati mai considerati; |
| sono considerati e utilizzati sporadicamente (indicare la frequenza delle misurazioni, l'unità di misura della quantità di aria compressa misurata e il punto di misura); |
| sono considerati e utilizzati regolarmente (indicare la frequenza delle misurazioni, l'unità di misura della quantità di aria compressa misurata e il punto di misura). |

Per gli indicatori, come si evince di seguito, si hanno le seguenti situazioni:

- per l'indicatore $\chi_1 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.41 , così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (86%) riguarda i settori di plastica e tessile, mentre, il minimo (29%) riguarda il chimico; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (40%) riguarda il settore autoveicoli, mentre, il minimo (7%) riguarda il settore chimico ; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (64%) riguarda il settore chimico, mentre, il minimo (14%) diverso da zero riguarda i settori di tessile e plastica;

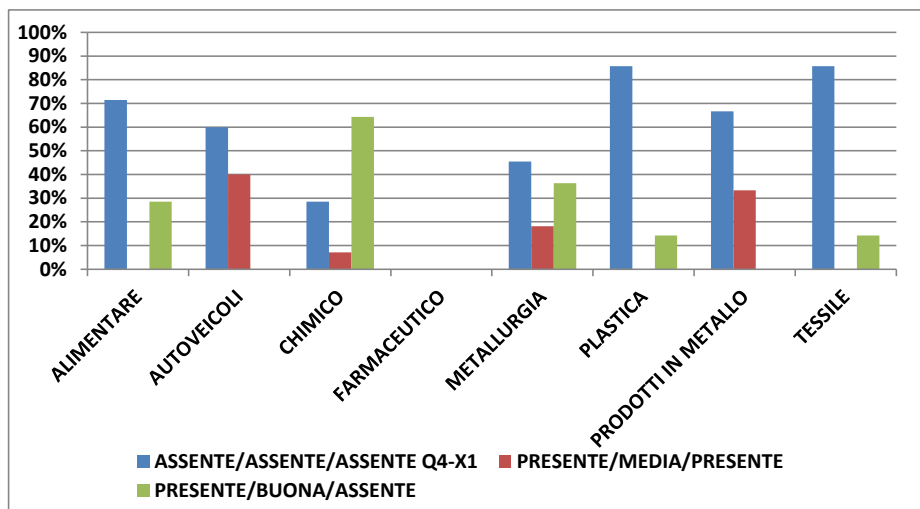


Figura 4.41. Indicatore χ_1 relativo alle risposte della domanda Q₄

- per l'indicatore $\chi_2 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.42, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (86%) riguarda il tessile, mentre, il minimo (12%) riguarda i settori chimico e metallurgia; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (40%) riguarda il settore autoveicoli, mentre, il minimo (3%) riguarda il settore farmaceutico; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (64%) riguarda il settore chimico, mentre, il minimo (2%) diverso da 0% riguarda la plastica.

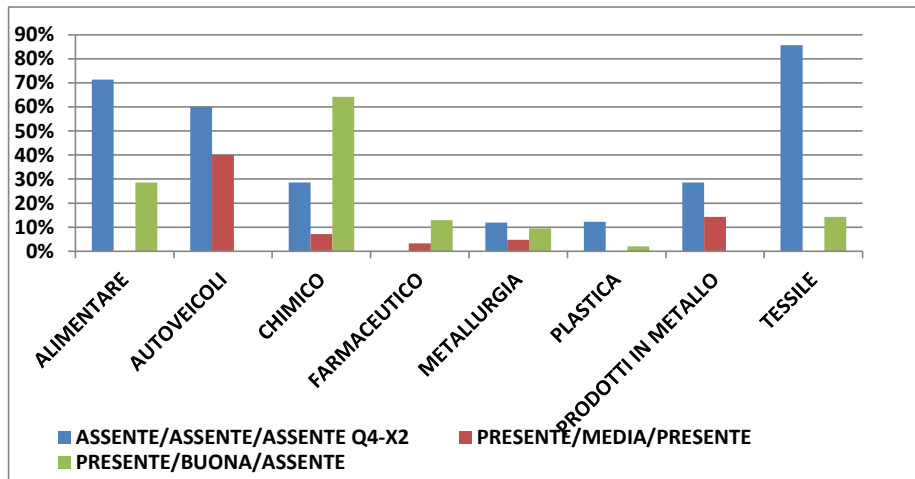


Figura 4.42. Indicatore χ_2 relativo alle risposte della domanda Q₄

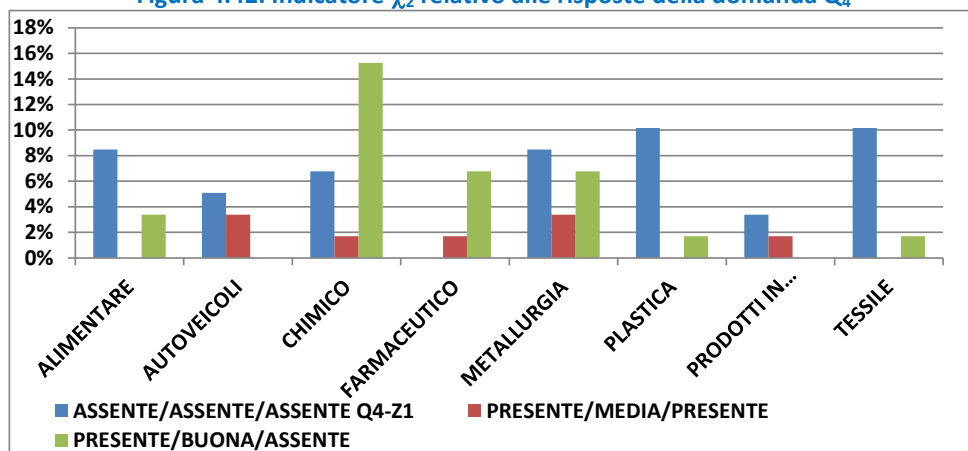


Figura 4.43. Indicatore ζ_1 relativo alle risposte della domanda Q₄

- per l'indicatore $\zeta_1 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.40, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (10%) riguarda i settori di plastica e tessile, mentre, il minimo (3%) riguarda il settore prodotti in metallo; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (3%) riguarda i settori di metallurgia e autoveicoli, mentre, il minimo (2%) riguarda i settori prodotti in metallo, chimico, farmaceutico; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (15%) riguarda il settore chimico, mentre, il minimo (2%) diverso da 0 riguarda i settori di plastica e tessile;

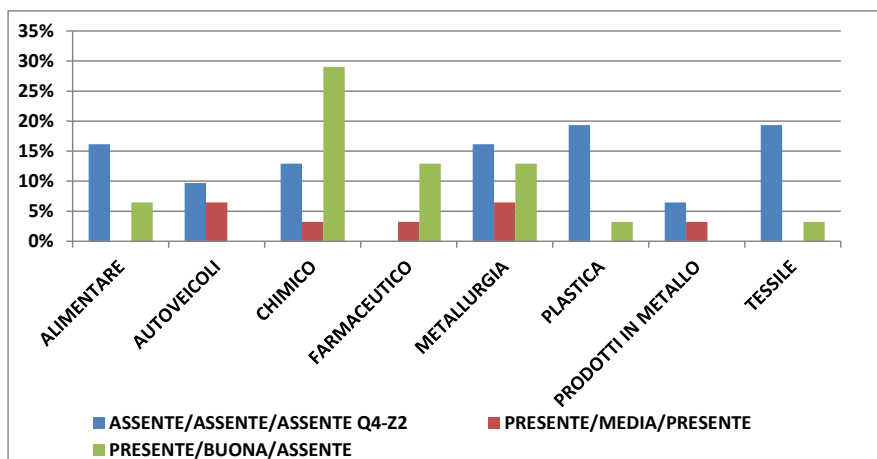


Figura 4.44. Indicatore ζ_2 relativo alle risposte della domanda Q₄

- per l'indicatore $\zeta_2 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.44, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (19%) riguarda i settori di plastica e tessile, mentre, il minimo (6%) riguarda il settore prodotti in metallo; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (6%) riguarda i settori autoveicoli e metallurgia, mentre, il minimo (3%) riguarda i settori farmaceutico , chimico e i prodotti in metallo ; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (29%) riguarda il chimico, mentre, il minimo (3%) diverso da 0% riguarda i settori tessile e plastica.

Si conclude che per tutti i quattro indicatori, prevale la risposta di colore celeste corrispondente ad un livello di valore basso.

Nella Tabella 4-15, per la domanda Q₁₂, relativa all'analisi dinamica dei costi di produzione rispetto alla quantità di aria prodotta, sono riportati la rispondenza tra il colore e il livello della classe di intervento, ovvero, sono rappresentate le corrispondenze tra la risposta e il colore.

Tabella 4-15. Risposte alla domanda Q₁₂

| Analisi dei dati di costo e di consumo dell'impianto aria compressa: |
|---|
| i dati di costo/consumo non vengono analizzati; |
| viene periodicamente condotta un'analisi dell'andamento nel tempo dei costi/consumi e vengono raffrontati i dati attuali con quelli storici; |
| viene periodicamente monitorato il rapporto consumo/produzione o il consumo specifico ed in caso di anomalie possono essere condotte analisi specifiche sul rapporto consumo/produzione o sul consumo specifico (ad es. per unità di prodotto, per ora lavorata, ecc.). |

- per l'indicatore $\chi_1 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.45 , così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (57%) riguarda il tessile, mentre, il minimo (14%) riguarda il chimico; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (100%) riguarda il settore prodotti in metallo, mentre, il minimo (14%) riguarda i settori tessile e alimentare ; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (57%) riguarda il settore chimico, mentre, il minimo (14%) diverso da 0% riguarda la plastica;

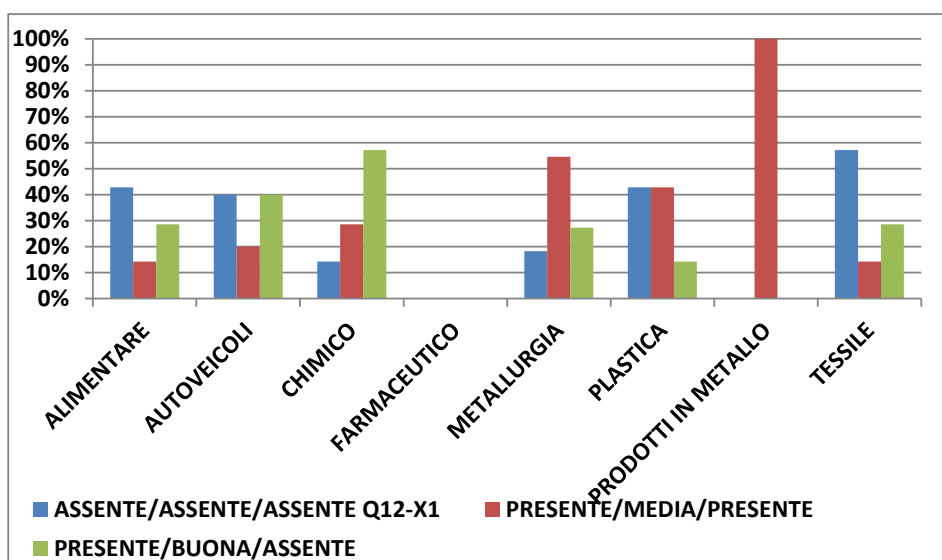


Figura 4.45. Indicatore χ_1 relativo alle risposte della domanda Q₁₂

- per l'indicatore $\chi_2 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.46 , così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (57%) riguarda il tessile,

mentre, il minimo (5%) riguarda il settore metallurgia; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (43%) riguarda il settore prodotti in metallo, mentre, il minimo (6%) riguarda il settore plastica; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (57%) riguarda il settore chimico, mentre, il minimo (2%) diverso da 0% riguarda la plastica.

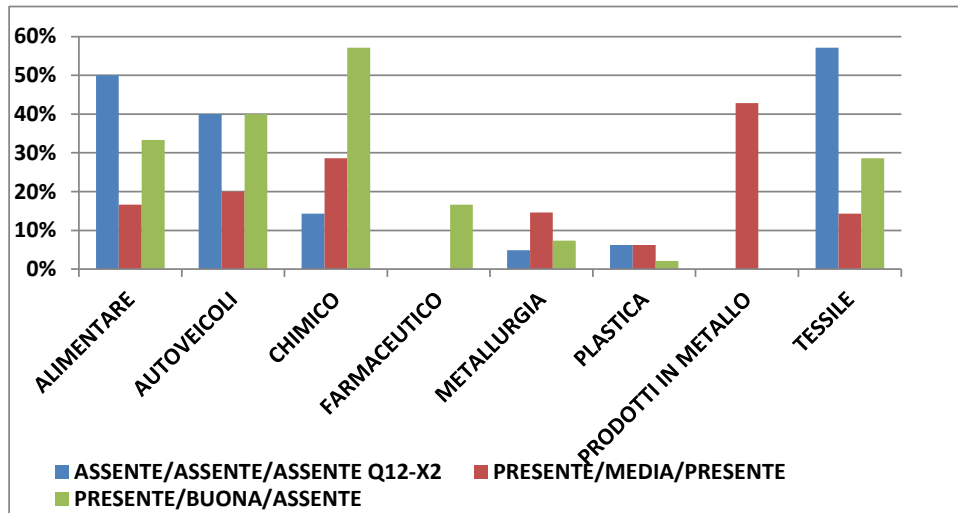


Figura 4.46. Indicatore χ_2 relativo alle risposte della domanda Q₁₂

- per l'indicatore $\zeta_1 \Rightarrow$ il numero di aziende che dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.47, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (7%) riguarda il tessile, mentre, il minimo (3%) riguarda i settori di metallurgia, chimico e autoveicoli; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (10%) riguarda la metallurgia, mentre, il minimo (2%) riguarda i settori tessile, autoveicoli, alimentare; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (14%) riguarda il settore chimico, mentre, il minimo (2%) diverso da zero riguarda il settore plastica;

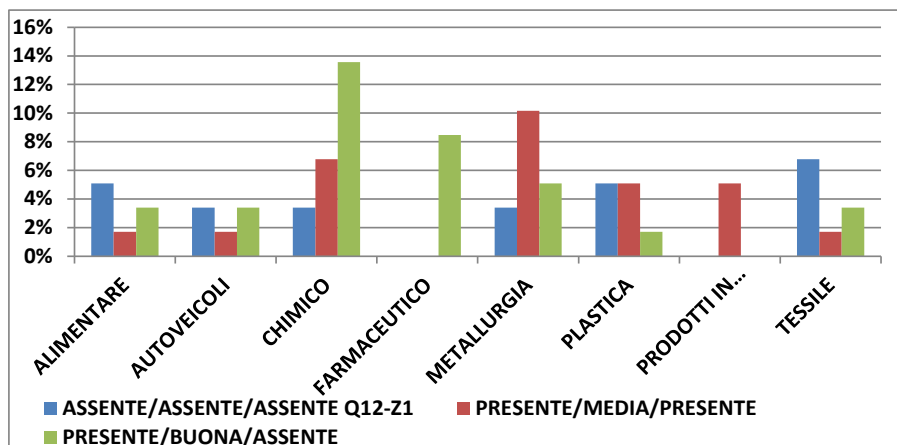


Figura 4.47. Indicatore ζ_1 relativo alle risposte della domanda Q₁₂

- per l'indicatore $\zeta_2 \Rightarrow$ le aziende dichiarano di adottare un funzionamento, come rappresentato in Figura 4.48, così definito: nella risposta 1 (colore celeste) il valore max (25%) riguarda il tessile, mentre, il minimo (13%) riguarda i settori autoveicoli, metallurgia e chimico; nella risposta 2 (colore rosso) il valore max (38%) riguarda il settore metallurgia, mentre, il minimo (6%) riguarda i settori alimentare, tessile e autoveicoli; nella risposta 3 (colore verde) il valore max (50%) riguarda il chimico, mentre, il minimo (6%) diverso da 0% riguarda il settore plastica;

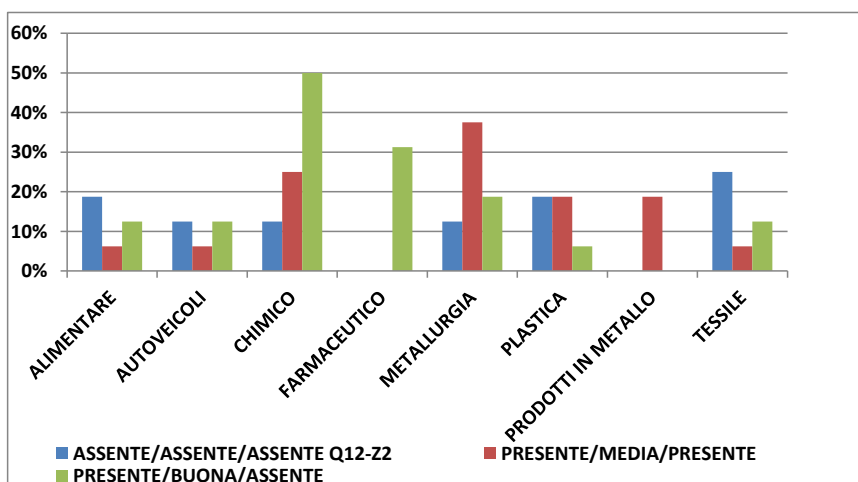


Figura 4.48. Indicatore c₂ relativo alle risposte della domanda Q₁₂

Si conclude che per tutti i quattro indicatori, si ha un andamento di livello medio-basso.

5 Valutazione dei livelli e previsioni future

Al termine delle indagini si può concludere che per quanto riguarda il **profilo dimensionale** le cui domande sono relative alla posizione della presa d'aria in ingresso (Q9), al valore di pressione di uscita (Q10) e alle perdite nella rete di distribuzione (Q11), le aziende intervistate presentano rispettivamente:

- ✓ un livello alto emerge per la domanda Q9, in quanto, prevale la **R4** per tutti i settori. Ovvero, le aziende dichiarano che la posizione della presa d'aria all'ingresso risulta corretta. Nel diagramma in Figura 5.1, il profilo rappresenta il livello dell'azienda rispetto al settore, ovvero, la normalizzazione è stata effettuata sul numero di aziende intervistate nel settore. Come si evince dalla stessa, tutti i settori ad eccezione dei settori alimentare e tessile, presentano il migliore livello. Mentre, si riporta nella Figura 5.2 l'andamento, ottenuto dalla normalizzazione effettuata sul totale delle aziende di tutti i settori, come si evince dalla stessa, i settori chimico, plastica e autoveicoli sono quelli che hanno i livelli più alti.

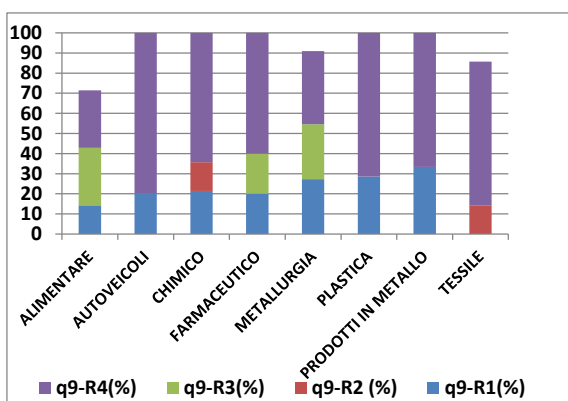


Figura 5.1.. Profilo dimensionale confronto per la Q9

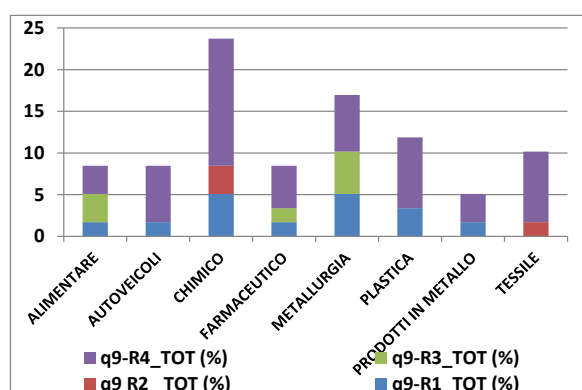


Figura 5.2.. Profilo dimensionale confronto per la Q9

- ✓ un livello basso per la domanda Q10, in quanto, prevale la risposta **R2** per tutti i settori. Ovvero, le aziende dichiarano che la pressione alla quale viene fornita l'aria è il valore di picco, cioè, la pressione massima richiesta. Nel diagramma in Figura 5.3, è riportato il profilo che rappresenta il livello dell'azienda rispetto al settore, ovvero, la normalizzazione è stata effettuata sul numero di aziende intervistate nel settore. Come si evince dalla stessa predomina la risposta che, implicitamente, indica

una bassa regolazione. In particolare, dalla stessa figura emerge che i settori plastica, farmaceutico metallurgia mirano ad una gestione futura più razionale e diversificata . Nella Figura 5.4, invece, l'andamento è stato ottenuto dalla normalizzazione effettuata sul totale delle aziende di tutti i settori. Come si evince dalla stessa, per i settori chimico, autoveicoli, alimentare e tessile prevalgono le aziende che forniscono i valori di pressione in funzione della richiesta.

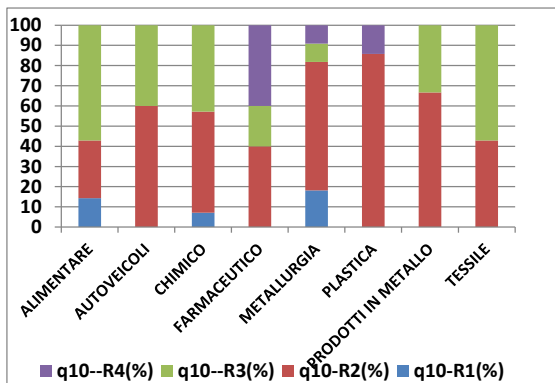


Figura 5.3.. Profilo dimensionale confronto per la Q10

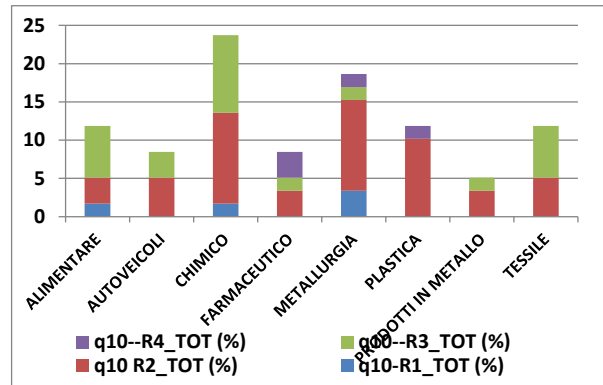


Figura 5.4.. Profilo dimensionale confronto per la Q10

- ✓ un livello basso risulta per la domanda Q11, in quanto, prevale la risposta R3 per tutti i settori ad eccezione dei settori alimentare, plastica e prodotti in metallo. Ovvero, le aziende dichiarano che sono state individuate le perdite nella rete di distribuzione e programmati i relativi interventi. Nel diagramma in Figura 5.5, è riportato il profilo che rappresenta il livello dell'azienda rispetto al settore, cioè, la normalizzazione è stata effettuata sul numero di aziende intervistate nel settore. Come si evince dalla stessa predomina la risposta che, implicitamente, indica un livello medio di diagnosi della rete e della relativa tempistica d'intervento. In particolare, i settori chimico, farmaceutico, prodotti in metallo e tessile sono quelli caratterizzati dal livello medio. Nella Figura 5.6, invece, si riporta l'andamento ottenuto dalla normalizzazione effettuata sul totale delle aziende di tutti i settori. Come si evince dalla stessa, il settore chimico presenta la migliore situazione, ovvero, quelli che hanno ridotto o eliminato le perdite.

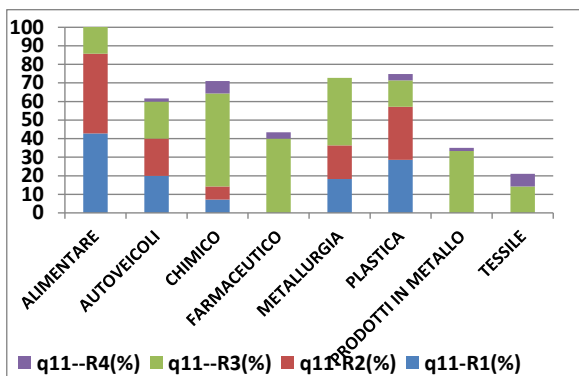


Figura 5.5.. Profilo dimensionale confronto per la Q11

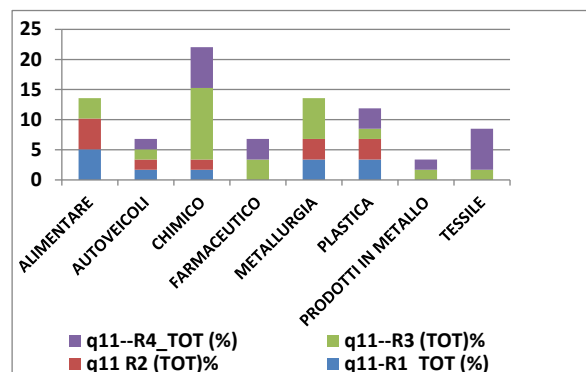


Figura 5.6.. Profilo dimensionale confronto per la Q11

Pertanto, si può affermare che i settori chimico, farmaceutico e prodotti in metallo sono quelli che presentano complessivamente un livello medio per il profilo dimensionale, mentre, tutti gli altri settori presentano un livello basso.

Per quanto riguarda il **profilo gestionale** le cui domande sono relative all'efficiamento energetico (Q1) dei processi produttivi dei CASs, alle diagnosi sistematiche e documentate dell'impianto aria compressa mediante sopralluoghi (Q2), agli usi impropri dell'aria compressa e alle 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 risulta per la Q1, in quanto prevale la risposta R4 per tutti i settori ad eccezione del settore prodotti in metallo. Ovvero, le aziende dichiarano che le procedure di efficientamento energetico risultano una prassi consolidata. Nel diagramma in Figura 5.7, è riportato il profilo che rappresenta il livello dell'azienda rispetto al settore, ovvero, la normalizzazione è stata effettuata sul numero di aziende intervistate nel settore. Come si evince dalla stessa, il livello (R4) è presente in tutti i settori tranne che nei prodotti in metallo. Mentre, nella Figura 5.8 si riporta l'andamento ottenuto dalla normalizzazione, effettuata, sul totale delle aziende di tutti i settori. Come si evince dalla stessa, anche in questo caso il livello (R4) è presente in tutti i settori, tranne che nei prodotti in metallo.

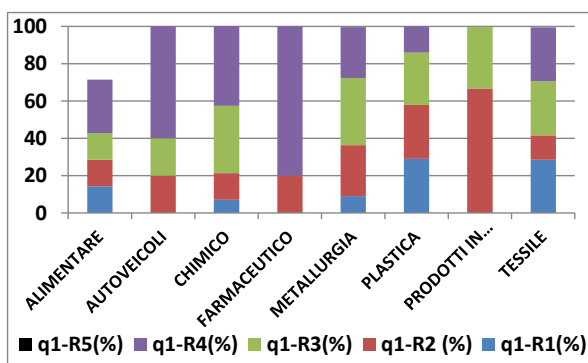


Figura 5.7.. Profilo gestionale confronto per la Q1

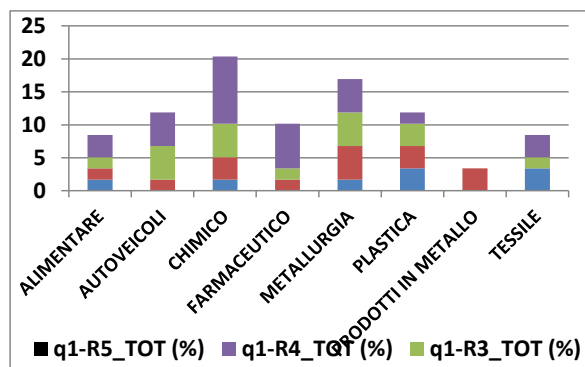


Figura 5.8.. Profilo gestionale confronto per la Q1

- ✓ un livello alto si ha per la Q2, in quanto, per tutti i settori, tranne per i prodotti in metallo e plastica, è presente la R4. Ovvero, le aziende dichiarano che vengono condotti periodicamente l'audit e la pianificazione degli interventi.

Nel diagramma riportato in Figura 5.9, il profilo rappresenta il livello dell'azienda rispetto al settore, ovvero, la normalizzazione è stata effettuata sul numero di aziende intervistate nel settore. Come si evince dalla stessa, predomina la risposta che implicitamente considera che l'efficienza energetica del sistema direttamente legata alla conoscenza e, quindi alla diffusione degli audit e del monitoraggio. Dalla stessa figura emerge che i settori di metallurgia, chimico, farmaceutico, alimentare e tessile sembrerebbero caratterizzati da un buon livello di maturità. Nella Figura 5.10, invece, l'andamento ottenuto dalla normalizzazione effettuata sul totale delle aziende di tutti i settori, confermano un buon livello dei settori degli autoveicoli, chimico, farmaceutico e tessile.

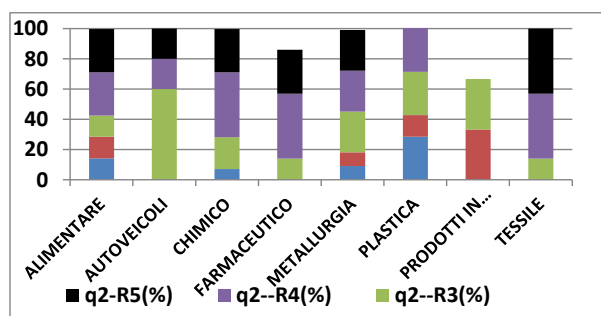


Figura 5.9.. Profilo gestionale confronto per la Q2

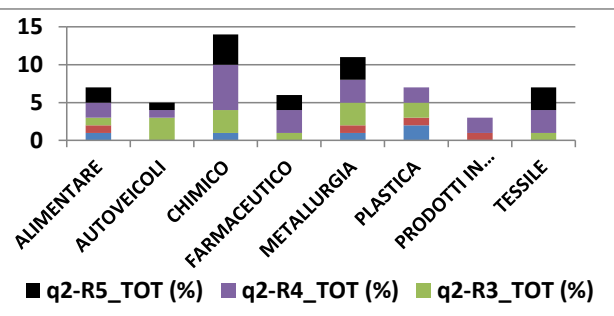


Figura 5.10.. Profilo gestionale confronto per la Q2

- ✓ un livello basso risulta per la Q3, in quanto, prevale la risposta R2 in tutti i settori, ad eccezione dei settori alimentare, autoveicoli e chimico. Nel diagramma in Figura 5.11, è riportato il profilo che rappresenta il livello dell'azienda rispetto al settore, ovvero, la normalizzazione è stata effettuata sul numero di aziende intervistate nel settore. Dalla stessa figura emerge per tutti i settori, la stessa

situazione R2, ad eccezione dei settori chimico, autoveicoli e alimentare, che presentano una situazione più favorevole grazie ai valori R3, R4, e del settore della metallurgia che ha una situazione peggiore, a causa della prevalenza di R2. La tendenza, ora descritta, si presenta nella Figura 5.12 con lo stesso andamento, ovvero, effettuando la normalizzazione sul totale delle aziende di tutti i settori.

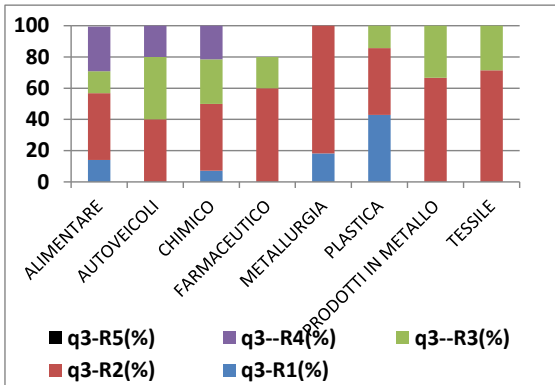


Figura 5.11.. Profilo gestionale confronto per la Q3

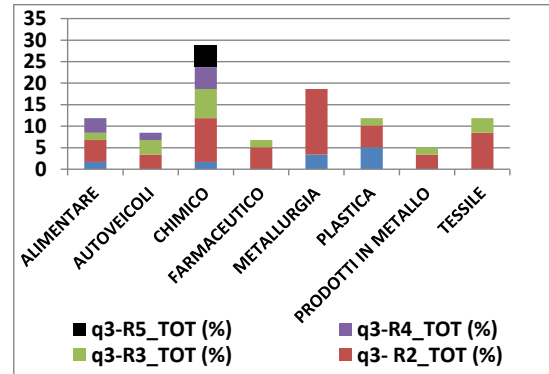


Figura 5.12.. Profilo gestionale confronto per la Q3

- ✓ un livello molto basso si ha per la Q4, in quanto prevale la R1 per tutti i settori ad eccezione del farmaceutico. Ovvero, le aziende intervistate non ritengono necessari il monitoraggio dei consumi e della produzione, e quindi, i sistemi di misura e le loro grandezze caratteristiche.

Nel diagramma riportato, il profilo rappresenta il livello dell'azienda rispetto al settore, ovvero, la normalizzazione è stata effettuata sul numero di aziende intervistate nel settore. Come si evince dalla stessa, predomina la risposta che implicitamente indica un livello molto basso del monitoraggio.

Dalla stessa figura, emerge la stessa situazione per R1 in tutti i settori, ad eccezione dei settori chimico, autoveicoli e alimentare che presentano una situazione più favorevole, grazie ai valori R3 e R4, mentre la situazione peggiore si ha per i settori dei settori di plastica, prodotti in metallo, tessile e alimentare a causa della prevalenza di R1. La tendenza, ora descritta, si presenta nella Figura 5.14 con lo stesso andamento, ottenuto dalla normalizzazione effettuata sul totale delle aziende di tutti i settori.

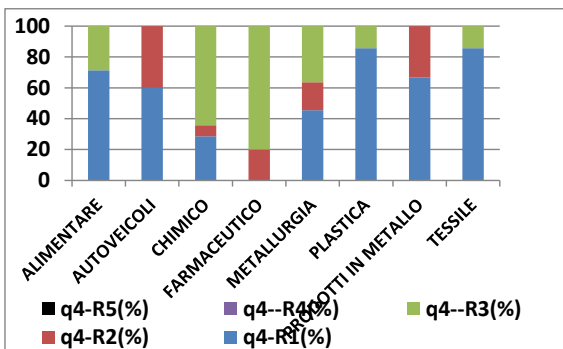


Figura 5.13.. Profilo gestionale confronto per la Q4

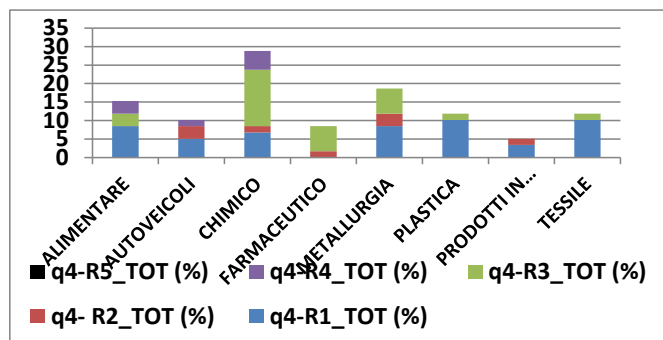


Figura 5.14.. Profilo gestionale confronto per la Q4

- ✓ un livello medio-basso si registra per il monitoraggio dei costi (Q12). Di fatto, prevalgono in uguale misura le risposte R1 e R2, ovvero, una parte delle aziende intervistate non analizzano i costi con periodicità temporale (R1) altre, invece, effettuano l'analisi dei costi (R2). Infine, rappresentano delle eccezioni i settori farmaceutico (valutazione periodica dei costi e risoluzione di eventuali anomalie-prevale R3) e dei prodotti in metallo (valutazione dei costi e confronto con i dati storici-prevale R2).

Nella Figura 5.15, il profilo rappresenta il livello dell'azienda rispetto al settore, ovvero, la normalizzazione è stata effettuata sul numero di aziende intervistate nel settore, come si evince dalla stessa, predominano le risposte R1 e R2, che implicitamente indica un livello complessivo medio-basso.

Dalla stessa figura emerge, per tutti i settori la stessa situazione, ad eccezione, del settore farmaceutico, che presenta una situazione ottima (grazie a R3) e dei prodotti in metallo che hanno una situazione più favorevole per la presenza in R2. La tendenza, ora descritta, si presenta nella Figura 5.16 con lo stesso andamento, ottenuto dalla normalizzazione effettuata sul totale delle aziende di tutti i settori.

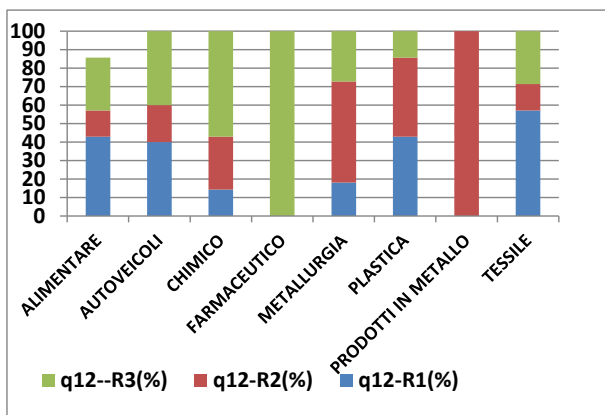


Figura 5.15.. Profilo gestionale confronto per la Q12

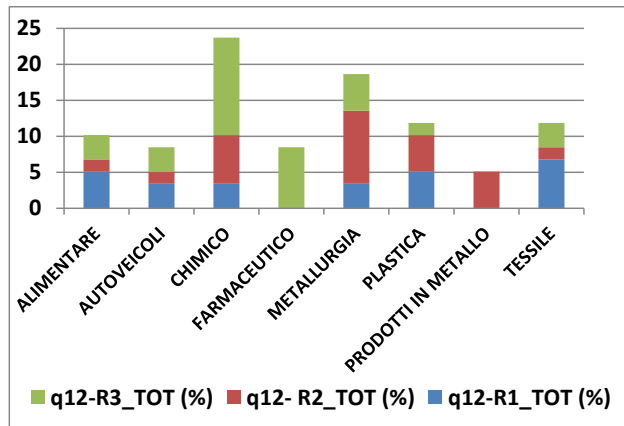


Figura 5.16.. Profilo gestionale confronto per la Q12

Per quanto riguarda il **profilo funzionale** le cui domande sono relative ai profili di richiesta dell'aria compressa (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 la Q5, relativa ai profili di richiesta, in quanto, prevalgono nella stessa misura le risposte R5 e R3. Ovvero, una parte delle aziende intervistate analizzano (R3) e tendono ad ottimizzare (R5), altre invece, effettuano una valutazione sommaria (R2) o addirittura nulla (R1). Infine, rappresentano delle eccezioni i settori 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).

Nel diagramma riportato in Figura 5.17 il profilo rappresenta il livello dell'azienda rispetto al settore, ovvero, la normalizzazione è stata effettuata sul numero di aziende intervistate nel settore. Come detto, dalla figura si evince che 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 una situazione favorevole (rispetto al livello medio) per la presenza in R3. La tendenza ora descritta, si presenta nella Figura 5.18 con lo stesso andamento, ottenuto dalla normalizzazione effettuata sul totale delle aziende di tutti i settori.

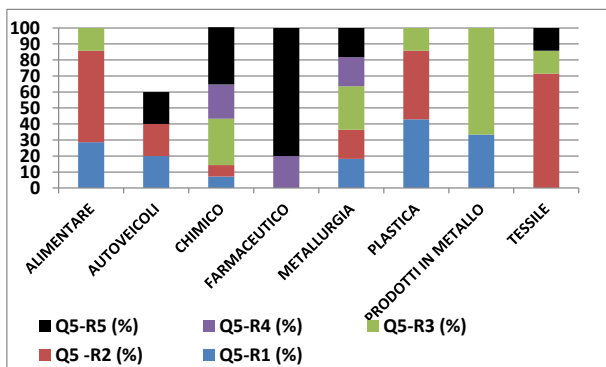


Figura 5.17.. Profilo funzionale confronto per la Q5

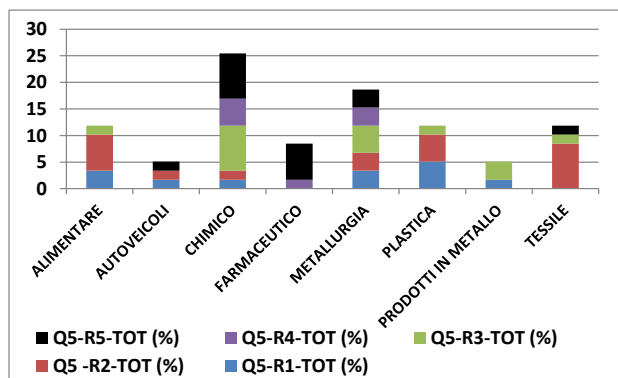


Figura 5.18.. Profilo funzionale confronto per la Q5

- ✓ un livello medio-basso si ha per la Q6, in quanto, prevalgono le risposte R3 e R2, tranne nel settore chimico per il quale sono presenti la R5; R4 e la R3 che sposta favorevolmente il livello relativo alla pianificazione della manutenzione.

Nel diagramma riportato in Figura 5.19 il profilo rappresenta il livello dell'azienda rispetto al settore, ovvero, la normalizzazione è stata effettuata sul numero di aziende intervistate nel settore, come si evince dalla stessa predomina la risposta che, implicitamente, indica una media manutenzione. Dalla stessa figura emergono tuttavia delle forti anomalie per il settore tessile poichè sono nulle tutte le risposte. Mentre una situazione differente per il settore dei prodotti in metallo (livello medio –solo R3) e del settore degli autoveicoli (livello basso –solo R2).

Nella Figura 5.20, invece, l'andamento ottenuto dalla normalizzazione, effettuata sul totale delle aziende di tutti i settori, conferma i risultati di un buon livello dei settori chimico e farmaceutico.

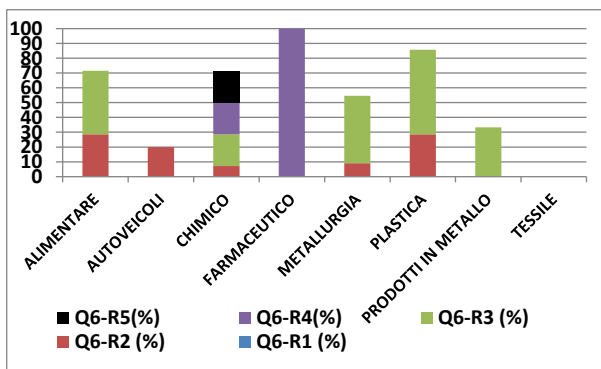


Figura 5.19.. Profilo funzionale confronto per la Q6

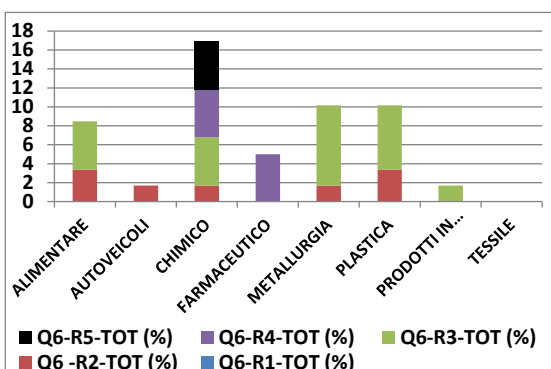


Figura 5.20.. Profilo funzionale confronto per la Q6

- ✓ un livello alto si ha per la Q7, in quanto, prevale la risposta R5 in tutti i settori ad eccezione del settore prodotti in metallo, ovvero, la regolazione viene effettuata e ottimizzata costantemente. Nel diagramma riportato in Figura 5.21 il profilo rappresenta il livello dell'azienda rispetto al settore, ovvero, la normalizzazione è stata effettuata sul numero di aziende intervistate nel settore, come si evince dalla stessa, predomina la R5 che indica un livello alto di applicazione e di verifica/controllo della regolazione. Dalla stessa figura, emerge che tutti i settori hanno la stessa situazione, ad eccezione del settore chimico, tessile, autoveicoli e metallurgia che presentano una situazione più favorevole grazie ai valori R5 e R4. Infine, si constata, per il settore dei prodotti in metallo un livello mediocre, a causa della compresenza di R3 e R1. La tendenza ora descritta, si presenta nella Figura 5.21 con lo stesso andamento, ottenuto dalla normalizzazione effettuata sul totale delle aziende di tutti i settori.

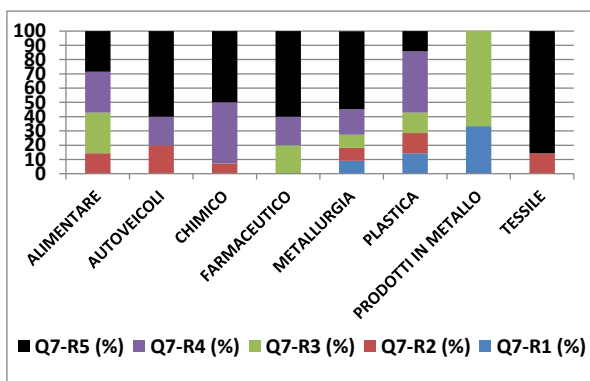


Figura 5.21.. Profilo funzionale confronto per la Q7

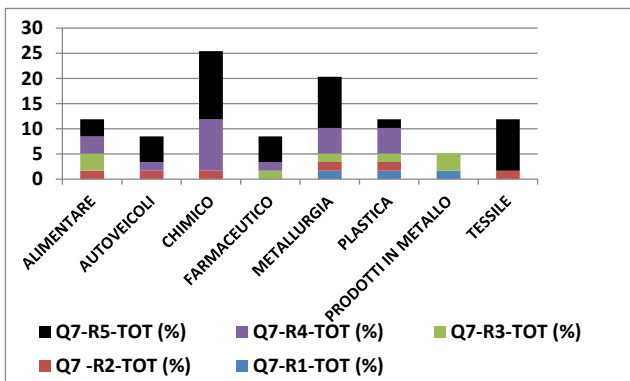


Figura 5.22.. Profilo funzionale confronto per la Q7

- ✓ un livello basso si registra per la Q8, in quanto, prevale la R1 in tutte le risposte, ovvero, le aziende intervistate non hanno mai misurato le cadute di pressione.

Nel diagramma riportato in Figura 5.23 il profilo rappresenta il livello dell'azienda rispetto al settore, ovvero, la normalizzazione è stata effettuata sul numero di aziende intervistate nel settore. Come si evince dalla stessa, predomina la risposta che implicitamente indica un livello basso del monitoraggio, di fatto in tutti i settori è presente la situazione per R1, ad eccezione dei settori chimico, autoveicoli, 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 metallurgia, prodotti in metallo e alimentare a causa della R1. La tendenza ora descritta, si presenta nella Figura 5.24 con lo stesso andamento, ottenuto dalla normalizzazione effettuata sul totale delle aziende di tutti i settori.

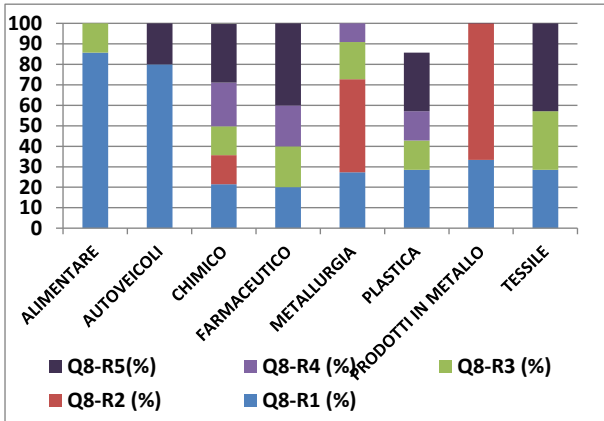


Figura 5.23.. Profilo funzionale confronto per la Q8

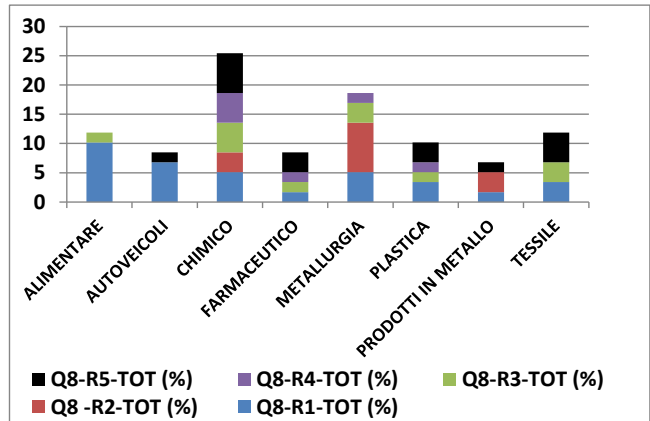


Figura 5.24.. Profilo funzionale confronto per la Q8

Si può concludere, in base ai punti di vista sviluppati nelle domande che costituiscono il profili ci sono margini, molto ampi, per lo sviluppo delle azioni di efficientamento .

Conclusioni

L'attività sviluppata in questa annualità, ha permesso di ricostruire la situazione energetica dei CASs e di definire i livelli di efficienza energetica, in funzione di diversi criteri.

In particolare, i profili sono stati elaborati in funzione delle caratteristiche energetiche, dell'utenza industriale alla quale l'aria compressa è destinata. I sistemi CASs delle aziende presentano, per ciascun profilo, i seguenti livelli:

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.

In base ai risultati conseguiti, le azioni future perseguibili per migliorare l'efficienza energetica dei CASs, potrebbero essere:

- per il profilo dimensionale, il monitoraggio indiretto dei consumi;
- per il profilo gestionale, eliminare degli usi impropri dell'aria compressa ;
- per il profilo funzionale, eliminare o ridurre le cadute di pressione.

Si precisa che, l'attività della presente annualità ha permesso di individuare i punti di forza e le criticità di ogni settore industriale. Pertanto, essi saranno il punto di partenza dell'attività futura che ha come obiettivo, la verifica dei risultati direttamente in azienda.

Bibliografia

- [1] Efficienza energetica nella produzione e uso industriale dell'aria compressa . Francesca Bonfà, e Ilaria Bertini - Report RdS/ 2015/062
- [2] Manuale dell'aria compressa Atlas Copco
- [3] Compressed air system best practice programmes: What needs to change to secure long-term energy savings for New Zealand. James R. Neale, Peter J. J. Kamp
- [4] Progetto . CARE+ (Grant Agreement IEE/07/827/SI2.499212 D7286). (aprile 2010)
- [5] Energy Efficiency- Best Practice Guide- Compressed Air Systems. State Government Victoria.
- [6] Improving Energy Efficiency of Compressed Air System Based on System Audit. (2008). Shanghai, Hongbo Qin, McKane, Aimee.

Appendice A

| Best Practices | DESCRIZIONE | Riferimento bibliografico |
|---|---|---|
| 1 Audit energetico | Lo studio di una diagnosi energetica aiuta un'organizzazione a comprendere e analizzare il proprio uso energetico e ad individuare le aree in cui l'energia può essere ridotta, a decidere su come prevedere il bilancio dell'uso energetico, pianificare e praticare metodi fattibili di conservazione energetica che migliorino l'efficienza energetica, limitino gli sprechi energetici e riducano sostanzialmente i costi energetici. | 1) A review on compressed-air energy use and energy savings (R. Saidur, N.A. Rahim, M. Hasanuzzaman) |
| 2. Risparmio energetico grazie a motori a velocità variabile | Generalmente, i compressori hanno le prestazioni massime alle condizioni di lavoro a pieno carico (condizioni nominali). Nelle condizioni a carico parziale, le prestazioni si riducono, pertanto si può migliorare l'efficienza adattando una velocità variabile con la richiesta di carico. | (1) (7) |
| 3 Risparmio energetico attraverso prevenzione di perdite | Un impianto non ben mantenuto avrà probabilmente una perdita pari al 20% della capacità totale di produzione di aria compressa. Oltre all'aumento del consumo di energia, le perdite possono rendere meno efficienti gli strumenti pneumatici (oppure di aria compressa?) e influenzare negativamente la produzione, ridurre la durata delle apparecchiature, generare ulteriori requisiti di manutenzione e aumentare i tempi non previsti di fermo. | (1) (2) Compressed air system best practice programmes: What needs to change to secure long-term energy savings for New Zealand? [James R. Neale, Peter J. J. Kamp] (3) Energy Efficiency of Compressed Air Systems [Smaeil Mousavi, Sami Kara, Bernard Kornfeld] (4) Best Practices for compressed air systems (5) SRSB EM Best practices (6) CARE + Best practices |
| 4 Risparmio energetico attraverso l'utilizzo di aria esterna | L'utilizzo di aria esterna più fredda può ridurre il lavoro del compressore. Se il flusso d'aria viene mantenuto costante, ridurre la temperatura dell'aria in ingresso riduce l'energia impiegata dal compressore. In molti impianti è possibile ridurre la temperatura dell'aria di entrata nel compressore aspirandola dall'esterno dell'edificio. Come regola generale, ogni 3 ° C (in meno) farà risparmiare l'energia compressore dell' 1%. | (1) (5) (7) Estimating Potential Energy Savings in Compressed Air Systems[Ryszard Dindorfa |
| 5. Risparmio energetico attraverso la diminuzione delle cadute di pressione | | (1), (5),(7) |
| 6 Risparmio energetico attraverso ugelli efficienti | | (1), (6) |

| | | |
|--|---|--------------------|
| 7 Mantenere puliti il compressore e le superfici di raffreddamento | L'energia sprecata nei sistemi ad aria compressa a causa di installazione e manutenzione insufficienti può ammontare fino al 50% dell'energia consumata dal compressore e si ritiene che circa la metà di tale quantità può essere risparmiata realizzando misure di risparmio energetico. È prudente far funzionare sistemi ad aria compressa alla minima pressione funzionale, che soddisfi i requisiti di produzione. | (1) (5) (7) |
| 8. Diminuzione di emissioni | | (1) |
| 9 Usi inappropriati | I filtri bloccati o intasati?? aumentano la caduta di pressione e aumentano il consumo energetico annuo. Circa l'1% dei costi di energia più elevati deriva da 2 psi di caduta di pressione del filtro. Il fissaggio o sarebbe meglio dire la riparazione? dei filtri che non funzionano correttamente eviterà anche contaminazioni e ridurrà il consumo di energia. | |
| 10. Gestione delle domande di picco (| | (2) |
| 11 Minimizzazione della pressione | La riduzione al minimo della pressione e delle perdite di distribuzione possono portare ad un risparmio energetico del 2-3% (a volte più), che non va ignorato, ma rettificare le perdite di distribuzione associate a lavori di reti (tubi?) sottodimensionate e ad uno storage insufficiente ha costi relativamente elevati di capitale rispetto all'effettivo risparmio energetico acquisibile Per converso, ridurre la pressione del sistema può avere costi trascurabili e far risparmiare dall' 1-3% del consumo energetico semplicemente riducendo il set point di scarico della pressione nella sala impianto di compressore. | (2), (4), (5), (6) |
| 12. Inefficienze della distribuzione (| | |
| 13.Utilizzo di serbatoi e sistemi di controllo automatico per anticipare i picchi di domanda (| La sequenza automatica dei compressori può ottimizzare la scelta dei compressori per | (4) |
| 14 Essere certi che l'aria compressa sia la migliore alternativa | Il costo dell'aria compressa spesso viene trascurato secondo me vuol dire che viene tollerato, sopportato a causa della convenienza e dei vantaggi ergonomici che fornisce. | (4), (5) |
| 15 Tutti i processi potrebbero non necessitare di aria compressa contemporaneamente | Analizzare il picco e il tasso medio di flusso per determinare le esigenze reali e se lo storage locale secondario può essere vantaggioso. | (4) (7) |

| | | |
|---|--|---|
| 16 Spegnere l'alimentazione dell'aria compressa in un processo quando non è in funzione | Arrestare l'approvvigionamento di aria compressa alle applicazioni non in funzione può ridurre il consumo di aria compressa. | (4) |
| 17 Determinare il costo dell'aria compressa per ogni macchina o processo. | Le misurazioni accurate del consumo d'aria e della potenza elettrica consentono una corretta valutazione e un apprezzamento del vero costo del funzionamento | (4) |
| 18 Quanta energia usa il tuo compressore. | La stima di quanto energia il compressore stia utilizzando è relativamente facile. | (5) |
| 19 Profilo di carico | È importante misurare e analizzare il profilo di carico del sistema, se si desidera migliorare in modo efficace le prestazioni e l'efficienza di qualsiasi sistema di aria compressa. | (5) (6) |
| 20 Controllare i ricevitori di aria | Se il ricevitore è troppo piccolo per le tue necessità di aria, il compressore funzionerà più a lungo di quello necessario. | (5) |
| 21 Migliorare la Misurazione e la Registrazione dei Dati | Considerare i vantaggi derivanti dal miglioramento della misurazione. In alternativa, si può considerare di usare provvisoriamente i misuratori di flusso e gli amperometri per monitorare la produzione di aria compressa ed il suo utilizzo durante determinati periodi. | (6) (7) |
| 22 Livelli di pressione multipli | Installare un sistema con più valori di pressione (sistemi o reti multi-pressione), separati o collegati tra loro (con l'utilizzo di compressori locali superiori). La riduzione della pressione di 1 bar consente un risparmio energetico dell'8%. | (7) |
| 23 Agenda della manutenzione | Creare un programma di manutenzione regolare e ben organizzato, e seguirlo metodicamente, è fondamentale per mantenere le prestazioni di un sistema di aria compressa. | (9) Improving Compressed Air System Performance: a sourcebook for industry. |
| 24 Monitoraggio delle prestazioni del compressore (deterioramento) | Una prima applicazione consiste nel monitorare periodicamente la prevalenza di pompaggio e paragonarla con il valore di progetto o con letture precedenti. | (10) Quaderni dell'aria compressa |
| 25 Allocare risorse per raggiungere obiettivi strategici | | (12) Chapter 4 Sustainable Energy Management |
| 26 Istituzione di un sistema amministrativo interno per il sostegno | | (12) |

APPENDICE B

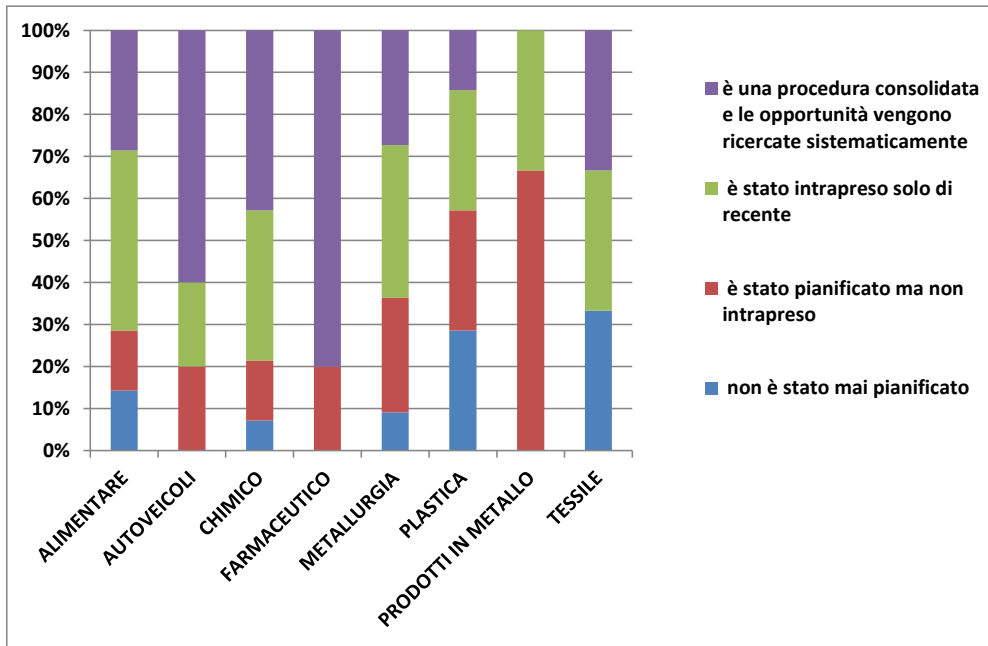


Figura 0.1. Risposte alla Q1 - L'efficiamento energetico del sistema aria compressa dei processi produttivi all'interno dell'azienda

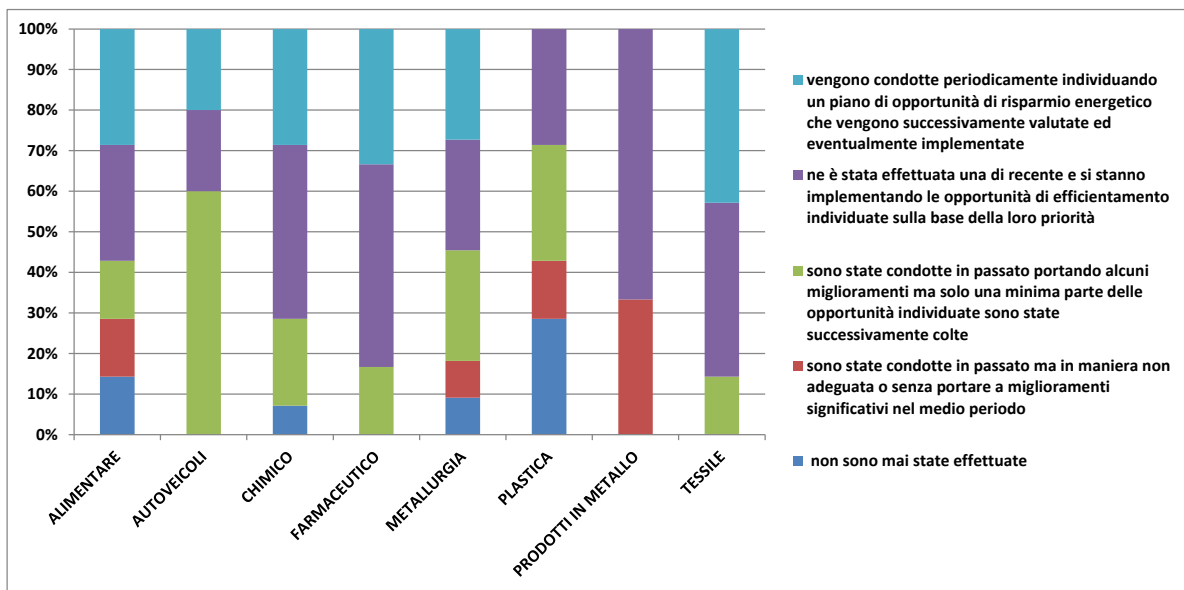


Figura 0.2. Risposte alla Q2. Diagnosi sistematiche e documentate dell'impianto aria compressa, finalizzate all'individuazione di opportunità di risparmio energetico (audit energetici).

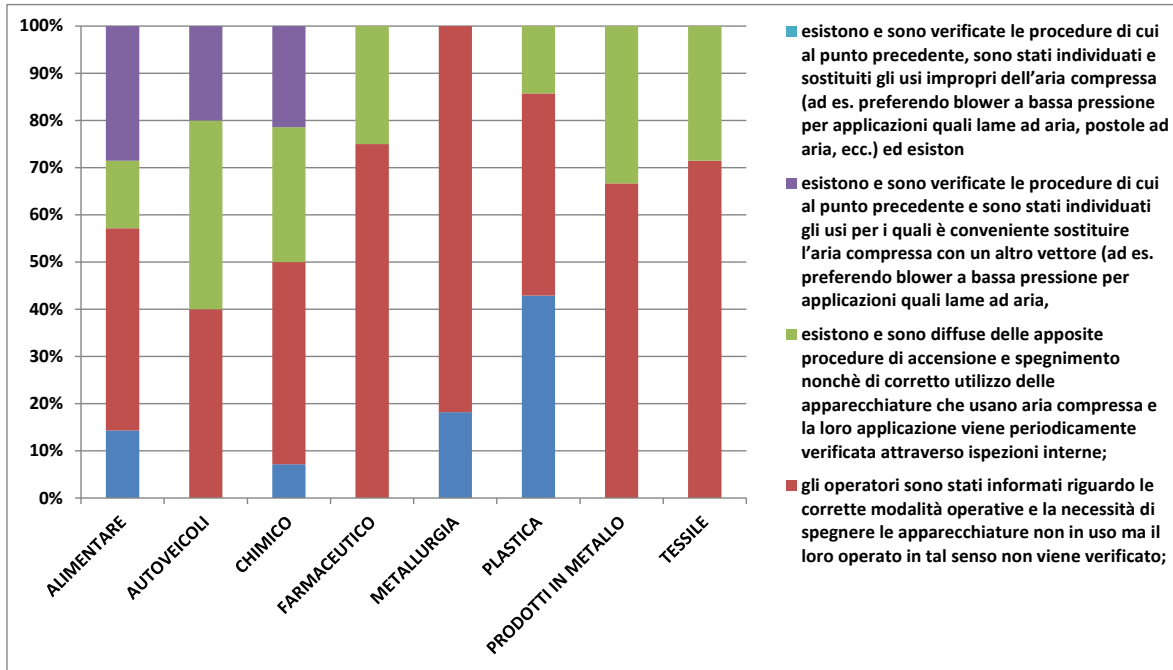


Figura 0.3. Risposte alla Q3- Per quanto riguarda gli usi impropri dell'aria compressa

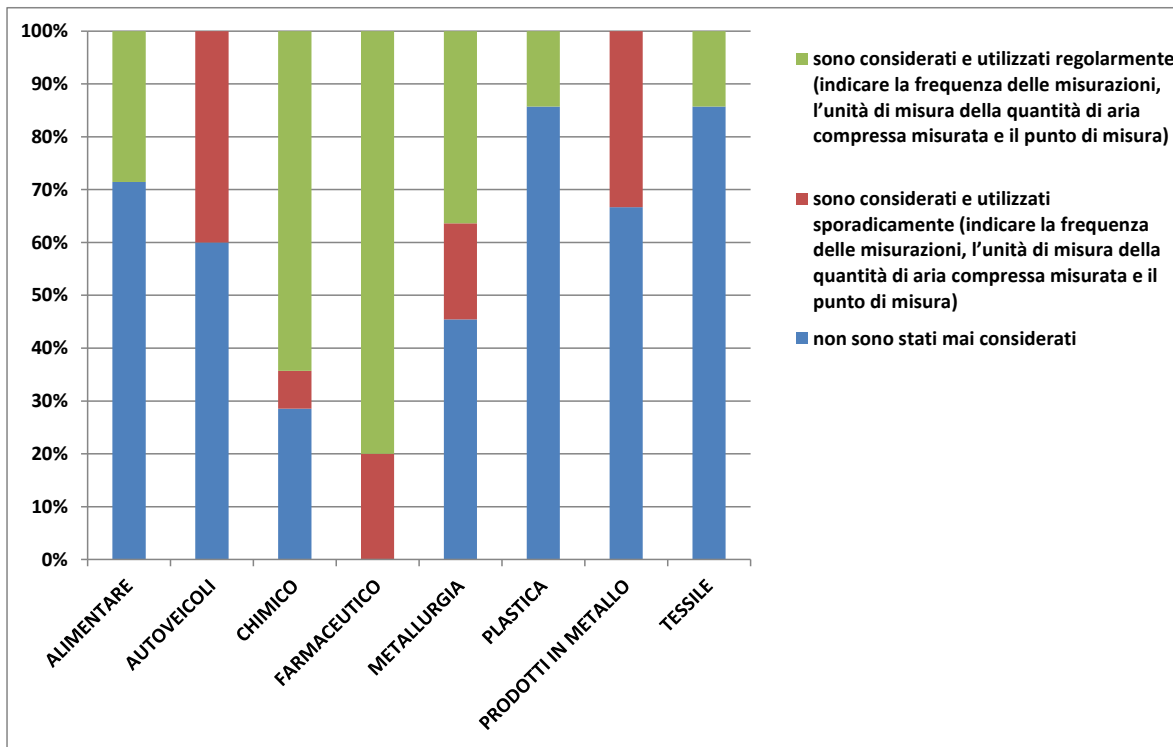


Figura 0.4. Risposte alla Q4- Applicazioni di sistemi che determinano le quantità di aria compressa prodotta e/o utilizzata

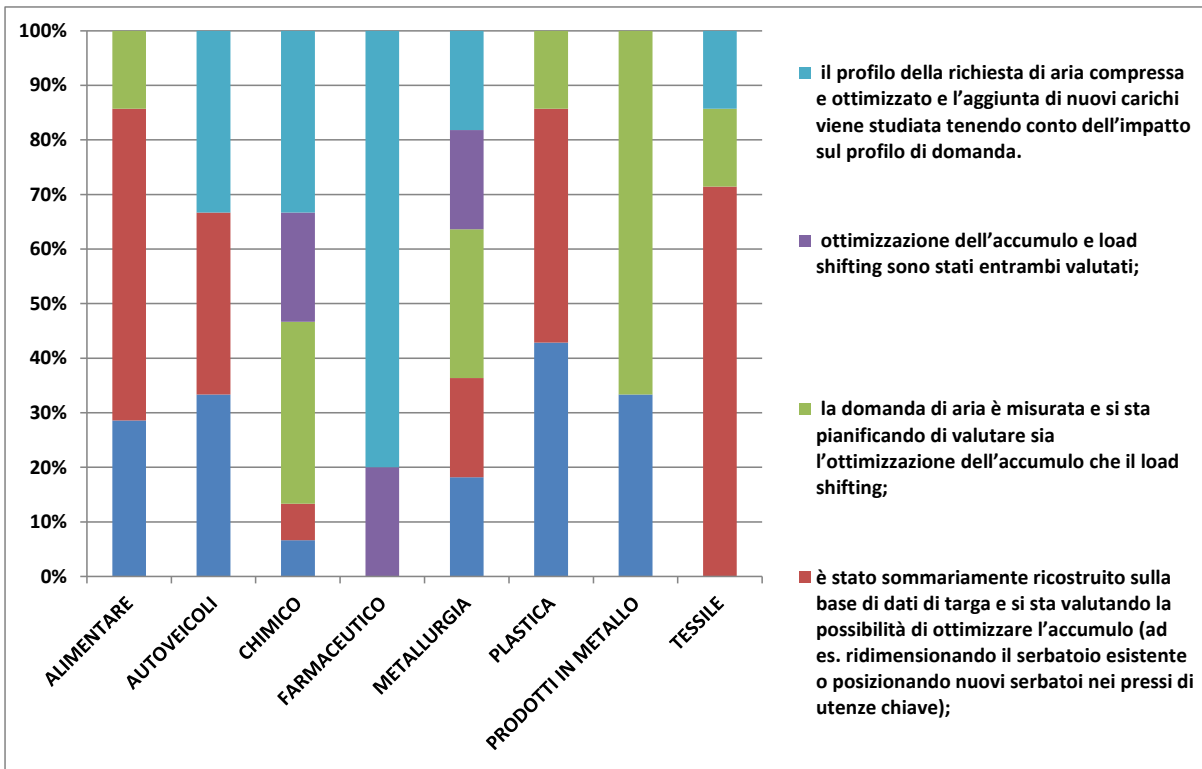


Figura 0.5. Risposte alla Q5- profilo di richiesta dell'aria compressa

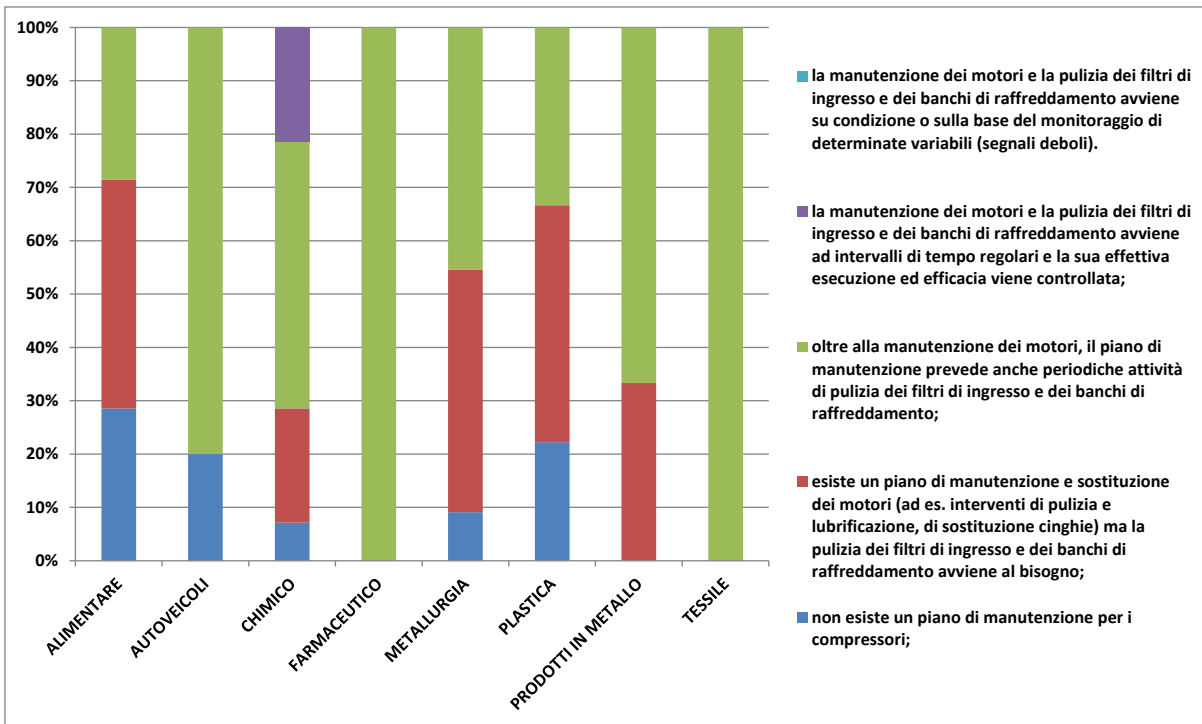


Figura 0.6. Risposte alla Q6- Pianificazione della manutenzione dei compressori

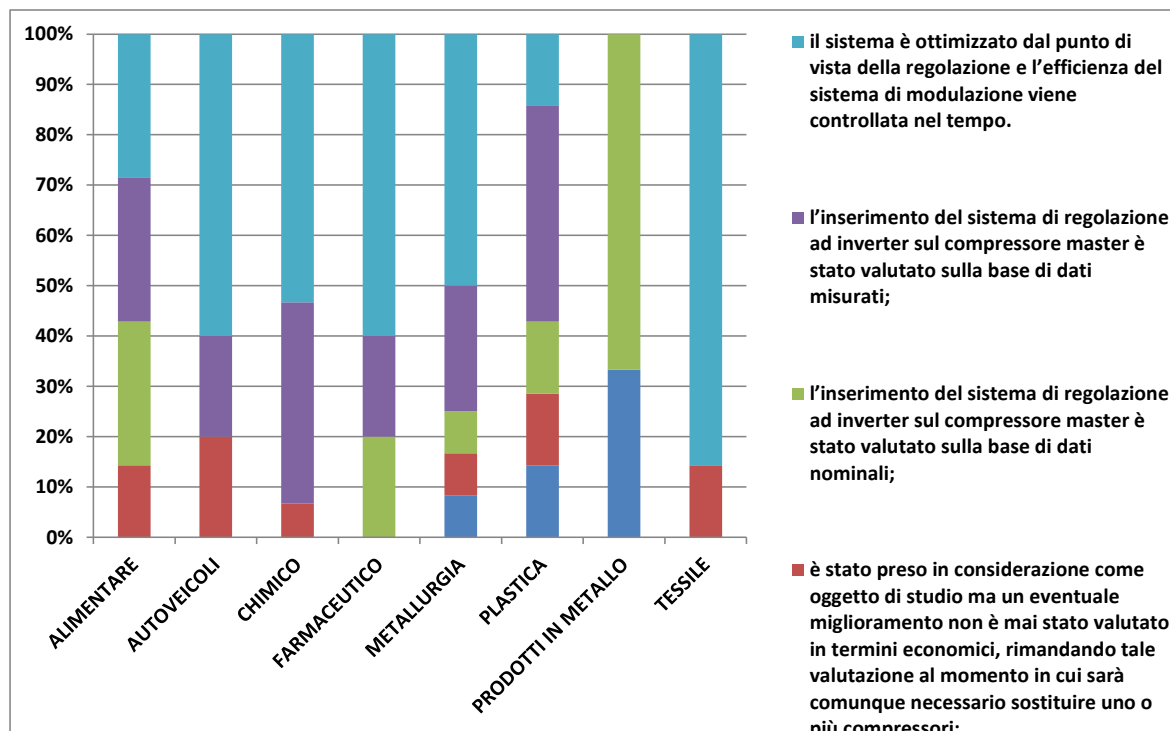


Figura 0.7. Risposte alla Q7- Sistema di regolazione dei compressori (on/off, vuoto/carico, inverter)

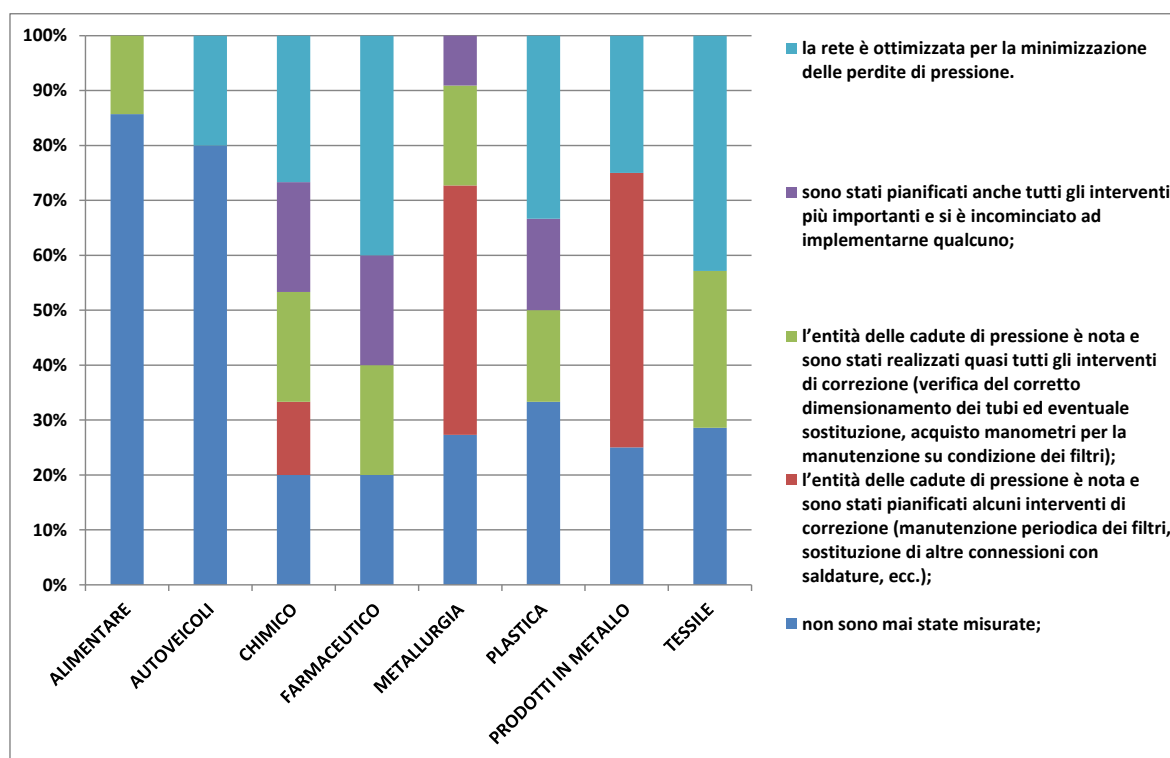


Figura 0.8. Risposte alla Q8- Cadute di pressione nell'impianto di distribuzione dell'aria compressa

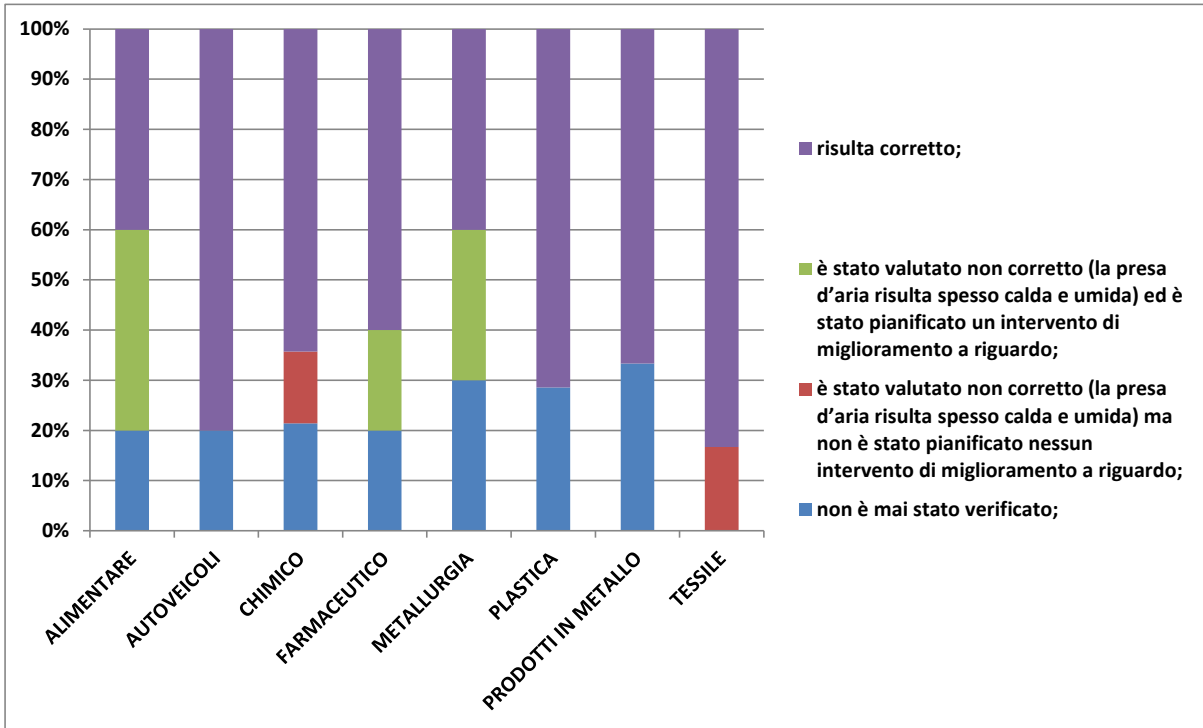


Figura 0.9. Risposte alla Q9-. Posizionamento della presa dell'aria in ingresso ai compressori

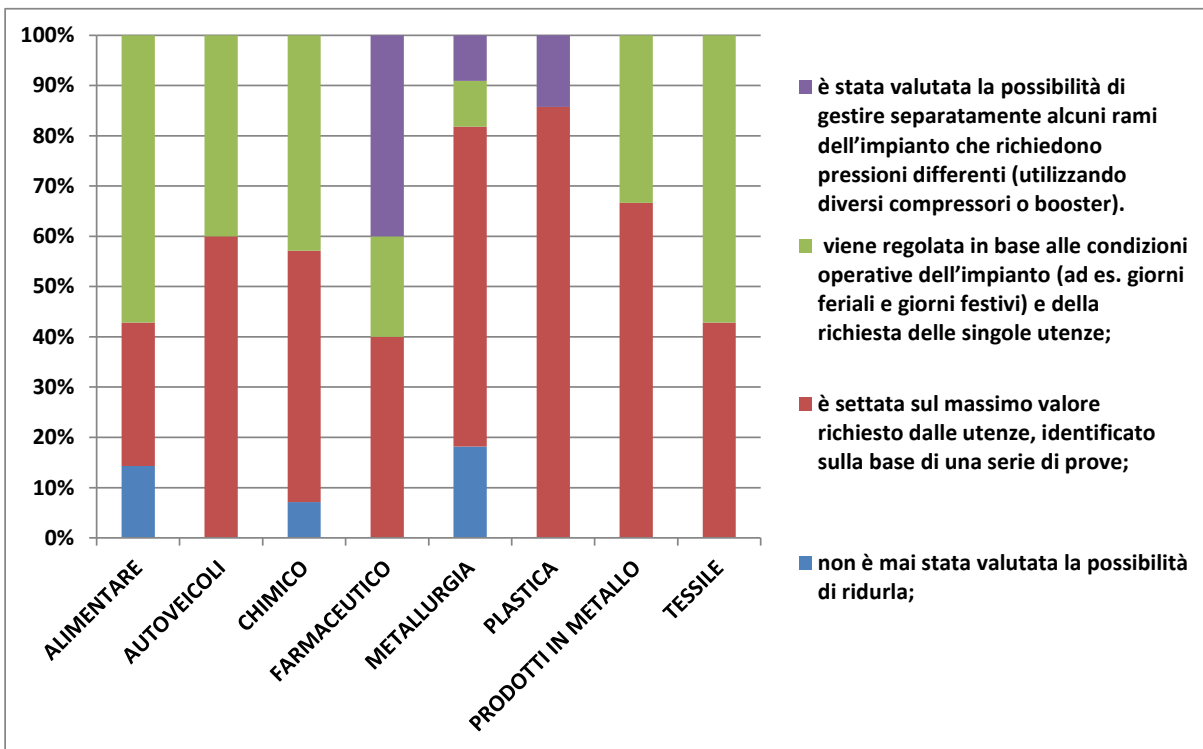


Figura 0.10. Risposte alla Q10-... Pressione di erogazione dell'aria compressa

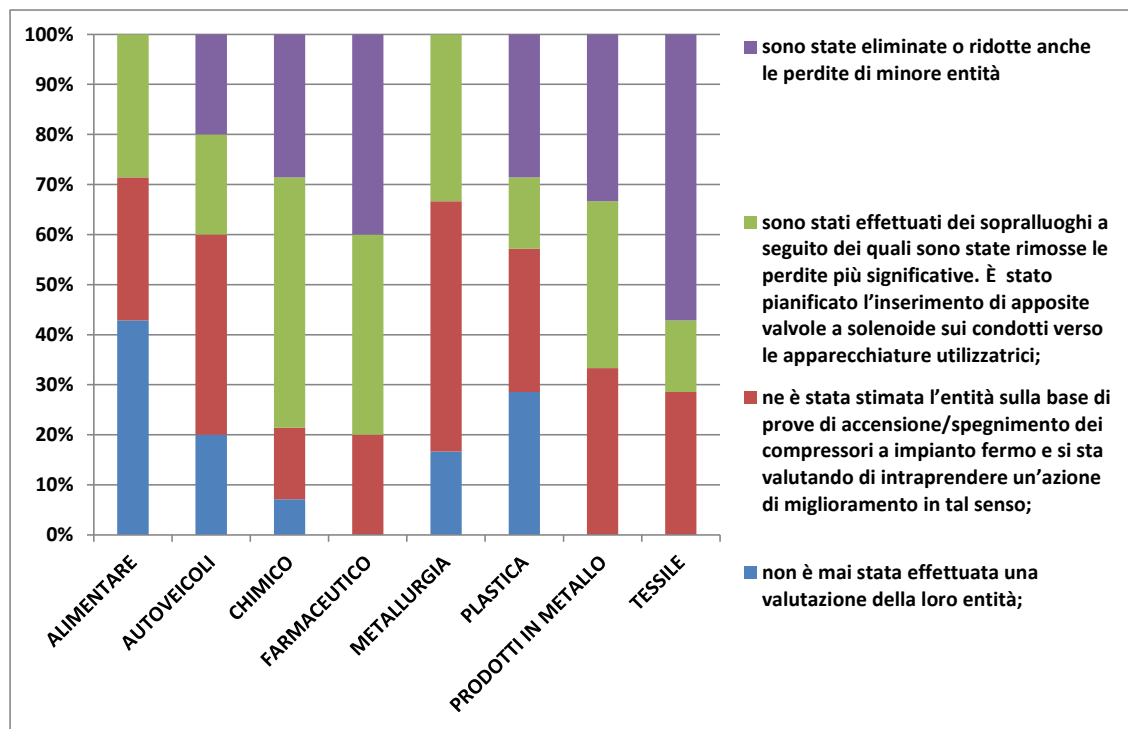


Figura 0.11. Risposte alla Q11. Perdite di aria compressa nella rete di distribuzione

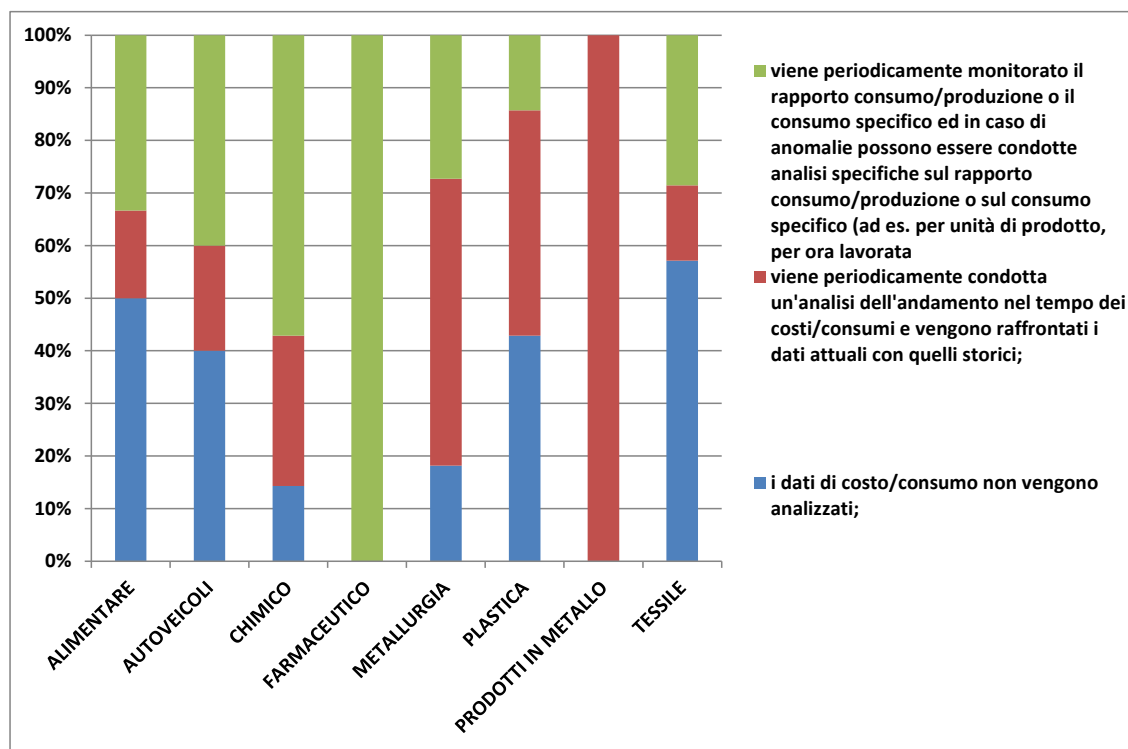


Figura 0.12. Risposte alla Q12. Analisi dei dati di costo e di consumo dell'impianto aria compressa