UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTA' DI **INGEGNERIA**

Corso di Laurea triennale in **INGEGNERIA GESTIONALE**

ANALISI DEI KPI NEL SETTORE INDUSTRIALE

KPI ANALYSIS IN THE INDUSTRIAL FIELD

Relatore: Chiar.mo
Prof. Ing. **MAURIZIO BEVILACQUA**

Tesi di Laurea di:
LEONARDO POMPOZZI

A.A. **2022** / **2023**

Indice

1. INTRODUZIONE 3

2. CONCETTI TEORICI 4

2.1. DEFINIZIONE DEI KEY PERFORMANCE INDICATORS (KPI) 4
2.2. RUOLO DEI KPI NEL SETTORE INDUSTRIALE 4
2.3. TIPOLOGIE DI KPI UTILIZZATI NEL SETTORE INDUSTRIALE 5
2.3.1. Energy KPIs (indicatori chiave di prestazione energetica) 5
2.3.2. Raw-materials KPIs (indicatori chiave di prestazione delle materie prime) 5
2.3.3. Operational KPIs (indicatori chiave di prestazione operativa) 6
2.3.4. Control performance KPIs (indicatori chiave di prestazione per il controllo della performance) 6
2.3.5. Maintenance KPIs (indicatori chiave di prestazione della manutenzione) 7
2.3.6. Planning KPI (indicatori chiave di prestazione di pianificazione) 7
2.3.7. Inventory and buffer utilization KPIs (indicatori chiave di prestazione dell'inventario e dell'utilizzazione del buffer) 8
2.3.8. Equipment KPIs (indicatori chiave di prestazione dell'attrezzatura) 8

3. DESCRIZIONE DEI PRINCIPALI KPI NEL SETTORE INDUSTRIALE 9

4. METODOLOGIA DI RICERCA 10

4.1. APPROCCIO DI RICERCA E METODOLOGIA UTILIZZATA 10
4.2. SELEZIONE DEI KPI E DELLE FONTI DI DATI 12
4.3. ANALISI STATISTICA E STRUMENTI UTILIZZATI 15

5. APPLICAZIONE PRATICA DEI KPI IN UN'AZIENDA A CARATTERE INDUSTRIALE 16

5.1. DESCRIZIONE DEL CASO DI STUDIO 17
5.2. RACCOLTA DATI E ANALISI DEI KPI 18
5.3. RISULTATI E INTERPRETAZIONE DELL'ANALISI DEI KPI 22
5.3.1. KPI RELATIVI ALL'ENERGIA 22
5.3.2. KPI AMBIENTALI 24
5.3.3. KPI POTENZIATI DALL'LCA (LCA-enhanced KPI) 25
5.4. CONCLUSIONE CASO DI STUDIO 30

6. IMPATTO DEI KPI SULLE PERFORMANCE AZIENDALI 31

6.1. ANALISI DELLE CORRELAZIONI TRA I KPI E I RISULTATI AZIENDALI 31
6.2. VALUTAZIONE DELL'IMPATTO DEI KPI SULLA PRODUTTIVITÀ E L'EFFICIENZA AZIENDALE 33

7. MIGLIORAMENTO CONTINUO E OTTIMIZZAZIONE DEI KPI 34

7.1. IDENTIFICAZIONE DI AREE DI MIGLIORAMENTO BASATE SUI KPI 34
7.2. SUGGERIMENTI E RACCOMANDAZIONE PER L'OTTIMIZZAZIONE DEI KPI 35

8. CONCLUSIONI 37

9. BIBLIOGRAFIA 39

10. SITOGRAFIA 40

11. RINGRAZIAMENTI 41

1. INTRODUZIONE

Nell'attuale contesto economico, le aziende del settore industriale devono fare i conti con la crescente complessità e con la forte concorrenza per rimanere competitive sul mercato. Monitorare e misurare le prestazioni aziendali in modo efficace è quindi diventato fondamentale per ottenere un vantaggio competitivo.

In questo scenario, l'analisi degli indicatori chiave di prestazione (o Key Performance Indicators – KPI) si è finora dimostrata una pratica molto efficace per la valutazione e il miglioramento delle prestazioni nel settore industriale.

Questo elaborato propone un'analisi dei KPI nel settore industriale, con l'obiettivo di fornire un'esposizione approfondita di come questi indicatori possano essere utilizzati per misurare, monitorare e migliorare le prestazioni aziendali. Saranno esaminati diversi aspetti relativi all'applicazione dei KPI, la loro selezione, il calcolo e la relativa interpretazione, nonché l'impatto sulle performance aziendali.

L'importanza dei KPI nel settore industriale risiede nella loro capacità di fornire una visione chiara e oggettiva delle prestazioni aziendali, consentendo una valutazione accurata degli obiettivi e delle strategie di business dell'azienda, fornendo quindi informazioni cruciali per l'elaborazione strategica di tutti quei processi che portano valore aggiunto all'attività dell'azienda. I KPI possono coprire una vasta gamma di aree, inclusi gli aspetti finanziari, operativi, di qualità, di sicurezza e di sostenibilità. Attraverso l'identificazione e il monitoraggio dei KPI pertinenti, le aziende a carattere industriale possono ottenere informazioni preziose per prendere decisioni basate sui dati e migliorare le proprie prestazioni.

Particolare attenzione sarà volta all'esposizione delle basi teoriche per la determinazione dell'importanza dei KPI nel settore industriale,

analizzando gli indicatori più comunemente utilizzati, esplorando la metodologia di ricerca di questi e, attraverso un caso di studio riconducibile ad una situazione reale, esaminare i risultati che derivano dall'utilizzo corretto degli indicatori di performance.

2. CONCETTI TEORICI

2.1. DEFINIZIONE DEI KEY PERFORMANCE INDICATORS (KPI)

I KPI, per definizione, sono indicatori di performance che permettono di valutare l'andamento o i progressi raggiunti in una determinata attività in funzione di obiettivi prestabiliti.

Essi sono strumenti di gestione essenziali poiché consentono alle aziende di misurare i risultati in modo quantitativo o qualitativo e di identificare eventuali scostamenti rispetto agli obiettivi strategici dell'azienda, permettendo di intervenire tempestivamente per apportare migliorie e correggere eventuali deviazioni.

2.2. RUOLO DEI KPI NEL SETTORE INDUSTRIALE

Esistono delle aree chiave nelle quali trova massima espressione l'utilizzo dei KPI, quali:

- Monitoraggio delle prestazioni: attraverso i KPI le aziende possono valutare se stanno raggiungendo gli obiettivi stabiliti e identificare eventuali aree di miglioramento;
- Miglioramento delle operazioni: i KPI consentono di identificare inefficienze, sprechi di risorse o problemi di qualità;
- Allineamento con gli obiettivi strategici: i KPI permettono di tradurre gli obiettivi aziendali in indicatori specifici e misurabili, fornendo un mezzo per valutare oggettivamente l'allineamento delle attività operative con la visione e la strategia dell'azienda;

- Valutazione della qualità e soddisfazione del cliente: monitorando e misurando i KPI, le aziende possono valutare l'efficacia delle loro strategie di qualità e migliorare la relazione con i clienti;
- Supporto alle decisioni aziendali: i KPI consentono di valutare le prestazioni passate, analizzare le tendenze e anticipare le sfide future, aiutando così nella pianificazione, nell'allocazione delle risorse e nella definizione di nuove strategie.

2.3. TIPOLOGIE DI KPI UTILIZZATI NEL SETTORE INDUSTRIALE

Potenzialmente esistono infiniti KPI individuabili nel settore industriale; di seguito verranno elencati i tipi più noti utilizzati per la minimizzazione dello spreco, inteso come termine generale in quanto in un contesto industriale si hanno sprechi al livello delle materie prime, energia, tempo di attività/inattività, manutenzione, qualità, etc.

2.3.1. Energy KPIs (indicatori chiave di prestazione energetica)

L'energia potrebbe essere gestita sotto forma di elettricità, gas, carbone, petrolio, biomassa, vapore etc. e il prodotto in output (uscita) per esempio in unità di m^3/h, unità/h etc. quindi gli indicatori chiave di prestazione energetica possono essere calcolati come il rapporto tra:

- Energia in output / energia in input;
- Energia in input / prodotto in output.

2.3.2. Raw-materials KPIs (indicatori chiave di prestazione delle materie prime)

Per materie prime non si intendono solo i materiali grezzi principali utilizzati per la fabbricazione di un prodotto ma anche gli elementi chimici (se presenti) che prendono parte al processo di produzione. Gli indicatori chiave di prestazione delle materie prime possono essere calcolati come il rapporto tra:

- Materiali grezzi in input / prodotto in output;
- Emissioni / prodotto in output;
- Rifiuti dei processi industriali / prodotto in output.

2.3.3. Operational KPIs (indicatori chiave di prestazione operativa)

Il KPI principale in campo operativo è l'OEE (Overall Equipment Effectivnes o "efficienza complessiva della risorsa produttiva") calcolato nel seguente modo:

$$OEE = Disponibilità \times Prestazione \times Qualità$$

Gli elementi utilizzati per calcolare l'OEE sono definiti nel seguente modo:

- Disponibilità: percentuale relativa all'effettivo tempo di lavoro sul totale del tempo disponibile;
- Prestazione (o rendimento): percentuale di pezzi prodotti rispetto alla potenzialità teorica dell'impianto;
- Qualità: percentuale di pezzi buoni sul totale dei pezzi prodotti.

Alternativamente l'OEE può anche essere visto come il rapporto tra il "tempo redditizio", definito come il tempo al quale il cliente/mercato riconosce un valore, e il "tempo disponibile", definito come la disponibilità oraria di presenza in azienda delle risorse (in caso di operatori) o di apertura dell'impianto (in caso di macchinari):

$$OEE = \frac{Tempo\ redditizio}{Tempo\ disponibile}$$

2.3.4. Control performance KPIs (indicatori chiave di prestazione per il controllo della performance)

Questo tipo di KPI è rilevante in quanto il controllo della performance influenza la qualità del prodotto, la velocità di produzione, l'usura dei macchinari etc.

Generalmente questi indicatori sono descritti come:

- Numero di cicli di controllo in modalità manuale / numero totale di ciclidi controllo;
- Varianza dell'errore di controllo (set-point – valore misurato);
- Tempo di impostazione dopo un cambio di set-point.

2.3.5. Maintenance KPIs (indicatori chiave di prestazione della manutenzione)

La manutenzione ha un ruolo fondamentale nel settore industriale odierno ed è necessario trovare un compromesso tra una carente manutenzione e un'eccessiva manutenzione. Una sarsa manutenzione potrebbe causare una quantità non programmata di interruzioni dei macchinari significativa con conseguente perdita di produzione e necessità di manutenzione di emergenza (più costosa). Al contrario invece, svolgere troppo spesso operazioni di manutenzione causerebbero spese troppo alte e non giustificate e perdite di produzione per ogni manutenzione pianificata. Gli indicatori chiave di prestazione della manutenzione possono essere calcolati come segue:

- Costo di manutenzione / prodotto in output su un determinato intervallo di tempo;
- Tempo di manutenzione / prodotto in output su un determinato intervallo di tempo;
- Numero di allarmi su un determinato intervallo di tempo causati da malfunzionamenti dei macchinari.

2.3.6. Planning KPI (indicatori chiave di prestazione di pianificazione)

La pianificazione e la schedulazione hanno un impatto significativo sul funzionamento efficiente degli impianti di produzione, in particolare sulla gestione e management della capacità dei

macchinari. L'indicatore chiave di prestazione di pianificazione può essere calcolato come somma integrata dei soli valori positivi della differenza tra produzione pianificata e produzione effettiva su un dato periodo di tempo.

2.3.7. Inventory and buffer utilization KPIs (indicatori chiave di prestazione dell'inventario e dell'utilizzazione del buffer)

Questa tipologia di KPI è rilevante in quanto, in base alla dimensione dell'inventario, si possono avere spese troppo grandi (per quantità di inventario troppo grandi) o problemi legati alla produzione (per quantità di inventario troppo piccole). I serbatoi tampone (buffer) dovrebbero smorzare i disturbi, ma, nel caso ciò non accadesse, la causa potrebbe essere un errato utilizzo di questi che possono essere sostituiti da tubature.

Questi indicatori sono descritti come:

- Tasso di rendimento / inventario medio;
- Varianza del livello di buffer;
- Quota del livello di time-buffer, preferibilmente maggiore del 95% o minore del 5% in un dato periodo di tempo.

2.3.8. Equipment KPIs (indicatori chiave di prestazione dell'attrezzatura)

Questi KPIs possono essere utilizzati per seguire le condizioni dell'attrezzatura a disposizione e in alcuni casi anche per prevedere quando sarà necessario svolgere l'attività di manutenzione; i parametri utilizzati per il calcolo degli indicatori chiave di prestazione dell'attrezzatura sono:

- Diversi tipi di efficienze, come ad esempio la velocità di trasferimento del calore da pompe/ventole, efficienza di asciugatura, etc.;
- Usura dell'attrezzatura (basata ad esempio sul numero di ore di funzionamento, velocità, carico, avvii, etc.);

- Ampiezza di vibrazione di un'apparecchiatura;
- Misurazioni di prestazioni future previste.

3. DESCRIZIONE DEI PRINCIPALI KPI NEL SETTORE INDUSTRIALE

   Nel campo industriale esistono dei KPI che sono utilizzati come "standard" per valutare le prestazioni aziendali, i principali sono i seguenti:

   - OEE (Overall Equipment Effectiveness): misura l'efficienza globale delle attrezzature e delle macchine industriali (una definizione più completa si trova al punto 2.3.3. riguardo agli operational KPIs);
   - Tasso di utilizzo degli impianti: indica la percentuale di tempo in cui gli impianti o le linee di produzione sono effettivamente in funzione rispetto al tempo totale disponibile;
   - Tempo medio di cambio produzione: rappresenta il tempo medio necessario per completare il cambio di produzione tra un lotto di prodotti e un altro. Misura l'efficienza della gestione dei cambi di produzione;
   - Tasso di scarto dei prodotti: misura la percentuale di prodotti non conformi o difettosi rispetto al totale dei prodotti realizzati. Riflette la qualità del processo produttivo;
   - Tempi di ciclo: indica la quantità di tempo necessaria per completare una singola unità di prodotto. Misura l'efficienza della produzione e la velocità di consegna;
   - Tasso di rottura delle macchine (MTBF – Mean Time Between Failures): indica il tempo medio tra i guasti delle macchine. Un MTBF più alto indica una maggiore affidabilità delle apparecchiature. La formula di calcolo dell'MTBF è:

     $$MTBF = \frac{uptime\ (tempo\ totale\ di\ operatività)}{n°\ di\ downtime\ (numero\ totale\ di\ fermi\ macchina)};$$

   - Tasso di riparazione delle macchine (MTTR – Mean Time To Repair): rappresenta il tempo medio necessario per riparare le macchine dopo un

guasto. Un MTTR più basso indica una maggiore efficienza nel ripristino della produzione dopo i guasti. La formula di calcolo dell'MTTR è:

$$MTTR = \frac{tempo\ totale\ di\ manutenzione\ non\ pianificata}{n°\ totale\ di\ riparazioni};$$

- Lead time di consegna: Indica il tempo trascorso dal momento in cui viene ricevuto un ordine fino alla consegna effettiva del prodotto al cliente. Misura l'efficienza dei processi di produzione e consegna;
- Costo del lavoro diretto: Rappresenta il costo totale del lavoro diretto impiegato nella produzione di beni o servizi. Può essere espresso come costo per unità di prodotto;
- Return on Investment (ROI): Misura l'efficienza degli investimenti aziendali, confrontando i profitti ottenuti rispetto al costo degli investimenti effettuati. La formula di calcolo del ROI è:
  - $ROI = \frac{profitti}{investimenti} \cdot 100;$
- Customer satisfaction rate: Misura il livello di soddisfazione dei clienti rispetto ai prodotti o servizi forniti dall'azienda. Può essere misurato attraverso indagini, sondaggi o feedback dei clienti;

La selezione dei KPI dipenderà successivamente dalle specifiche esigenze aziendali e dagli obiettivi strategici preposti. È dunque fondamentale riuscire ad identificare i KPI più rilevanti al singolo caso tenendo in considerazione le priorità aziendali e il settore industriale specifico.

4. METODOLOGIA DI RICERCA

4.1. APPROCCIO DI RICERCA E METODOLOGIA UTILIZZATA

Per stabilire quali indicatori di performance utilizzare, in particolare nel settore industriale, si ricorre spesso ad un approccio che combina elementi quantitativi ad elementi qualitativi.

Prima di tutto, per individuare i caratteri generali degli indicatori da utilizzare, esperti del settore come Tranfield, Jesson, Colicchia, Strozzi e

Thomé hanno indicato, individualmente e in periodi differenti, tre principali interrogativi a cui fare riferimento:

a) Quali sono i KPI generalmente utilizzati nel contesto industriale?
b) Quali sono gli elementi che supportano la capacità di recupero dell'azienda?
c) Come possono aiutare a creare resilienza i KPI non legati alla sfera finanziaria?

La prima domanda (a) stimola la ricerca dei KPI utilizzati negli studi relativi al contesto industriale. In questa fase non abbiamo limitato la ricerca ai KPI non finanziari per non trascurare gli articoli che non classificano i KPI in finanziari e non finanziari.
La seconda domanda (b) mira ad identificare gli elementi responsabili della creazione di capacità di recupero per l'azienda.
Infine la terza domanda (c) intende esplorare l'influenza di KPI non finanziari.
Questo prima fase di studio consente di ottenere una comprensione approfondita dei KPI e delle loro implicazioni nel contesto industriale e permette di procedere con la ricerca degli indicatori di performance attraverso i seguenti elementi:

- Ricerca documentale: viene condotta un'approfondita ricerca bibliografica per identificare le teorie, i modelli concettuali e le migliori pratiche relative all'uso di dei KPI nel settore industriale;
- Studio del caso specifico: viene selezionata un'azienda a carattere industriale rappresentativa per condurre uno studio approfondito sull'utilizzo dei KPI;
- Analisi quantitativa: vengono utilizzati metodi statistici per analizzare i dati quantitativi raccolti, ad esempio per calcolare indicatori di prestazione, misurare variazioni nel tempo e identificare correlazioni tra i KPI e le prestazioni aziendali. Ciò

permetterà di acquisire una valutazione quantitativa delle prestazioni aziendali e dei KPI utilizzati;

- Analisi qualitativa: vengono condotte analisi qualitative di dati acquisiti attraverso, ad esempio, lo studio di un caso specifico. Questo tipo di analisi consentirà di ottenere una comprensione approfondita dei contesti, delle percezioni e delle opinioni degli attori chiave nel contesto aziendale riguardo all'utilizzo dei KPI e al loro impatto sulle prestazioni;
- Valutazione comparativa: vengono confrontati i risultati ottenuti dallo studio del caso specifico con le teorie e le migliori pratiche individuate nella ricerca biografica allo scopo di valutare se l'azienda oggetto di studio adotta approcci allineati con le tendenze emergenti nel settore industriale e di identificare eventuali sfide o opportunità per il miglioramento.

Questo approccio di ricerca consente di ottenere una prospettiva completa sull'utilizzo dei KPI nel settore industriale, comprendendo sia gli aspetti soggettivi che gli aspetti oggettivi delle prestazioni aziendali.

4.2. SELEZIONE DEI KPI E DELLE FONTI DI DATI

La selezione di KPI significativi è un'attività critica e fondamentale nella sfera manageriale e organizzativa; questa può essere vista come l'ultima fase del processo di definizione degli indicatori di performance.

Una volta creata una lista iniziale di KPI, si procede con la valutazione di ciascun possibile indicatore sulla base di un insieme di criteri che garantiscono la qualità e la significatività degli indicatori. Diversi studi hanno identificato i criteri per valutare la qualità e l'utilità delle informazioni contenute in un indicatore di performance.

I criteri di selezione degli indicatori di performance includono:

- Rilevanza: un indicatore di performance rilevante fornisce informazioni che possono influenzare le decisioni, aiutando gli utenti a fare previsioni in base agli esiti di eventi passati, presenti e futuri o a confermare o correggere aspettative precedenti. È essenziale che le informazioni siano tempestive e disponibili prima che perdano la capacità di influenzare le decisioni;
- Affidabilità: un indicatore di performance affidabile è ragionevolmente esente da errori e distorsioni e rappresenta fedelmente ciò che si propone di rappresentare;
- Comparabilità e coerenza: gli indicatori di performance dovrebbero consentire agli utenti di identificare somiglianze e differenze tra due insiemi di fenomeni economici e dovrebbero essere coerenti nel tempo con politiche e procedure stabili;
- Comprensibilità e rappresentatività: gli indicatori devono essere interpretabili e facilmente comprensibili sia internamente che esternamente, presentati in modo chiaro e conciso.

Questi criteri rappresentano il riferimento essenziale per selezionare gli indicatori più appropriati e costruire un sistema di misurazione delle performance efficace.

La selezione delle fonti di dati, come la scelta dei KPI più significativi, è un processo cruciale per garantire l'accuratezza, l'affidabilità e la rilevanza delle informazioni raccolte per il sistema di misurazione delle performance (Performance Measurement System).

Alcuni passaggi chiave nella selezione delle fonti di dati includono:

- Identificazione degli indicatori di performance: prima di tutto, è necessario identificare gli indicatori di performance che si desidera monitorare. Questi dovrebbero essere allineati agli obiettivi strategici e alle esigenze dell'organizzazione;

- Definizione dei requisiti dei dati: per ciascun KPI, è importante stabilire i requisiti dei dati necessari per il calcolo dell'indicatore. Ciò include il tipo di dati (quantitativi o qualitativi), la frequenza di aggiornamento, la fonte dei dati e altre informazioni pertinenti.
- Valutazione delle fonti di dati disponibili: una volta definiti i requisiti dei dati, è necessario valutare le fonti di dati disponibili per soddisfare i requisiti. Le fonti di dati possono includere sistemi informatici aziendali, database esterni, registri manuali, interviste, etc.
- Affidabilità e accuratezza dei dati: è fondamentale assicurarsi che le fonti di dati selezionate siano affidabili e producano dati accurati. Le fonti di dati dovrebbero essere valide e rappresentative della realtà che si intende misurare.
- Disponibilità dei dati: le fonti di dati devono essere facilmente accessibili e disponibili in modo tempestivo per consentire il monitoraggio e la valutazione delle performance in modo regolare.
- Costi e risorse: la selezione delle fonti di dati deve tenere conto dei costi associati alla raccolta e all'acquisizione dei dati, nonché delle risorse necessarie per gestire il processo di raccolta dati.
- Consistenza delle fonti di dati: è importante garantire la coerenza e la continuità delle fonti di dati nel tempo, in modo da poter effettuare confronti e analisi delle tendenze nel lungo periodo.
- Sicurezza e privacy dei dati: nel selezionare le fonti di dati, è essenziale garantire che vengano rispettate le normative sulla privacy e che i dati siano protetti da accessi non autorizzati.

Una volta selezionate le fonti di dati, è possibile procedere con la raccolta e l'analisi dei dati per ottenere le informazioni necessarie per monitorare e migliorare le performance aziendali.

4.3. ANALISI STATISTICA E STRUMENTI UTILIZZATI

L’analisi statistica è una componente fondamentale nella valutazione delle performance aziendali e nella comprensione dei dati raccolti dai sistemi di misurazione delle performance. Attraverso l’analisi statistica, è possibile ottenere informazioni significative dai dati, identificare tendenze, correlazioni e modelli, nonché prendere decisioni informate per il miglioramento delle prestazioni aziendali.

Alcuni degli strumenti e metodi utilizzati per l’analisi statistica includono.

- Statistica descrittiva: la statistica descrittiva è la prima fase dell'analisi statistica e consiste nel riassumere e descrivere i dati raccolti. I principali strumenti utilizzati in questa fase includono la media, la mediana, la deviazione standard, gli istogrammi, i diagrammi a dispersione e le tabelle di frequenza;
- Analisi delle tendenze: l'analisi delle tendenze è utile per identificare i modelli di comportamento dei dati nel tempo. Questo tipo di analisi può essere svolto attraverso metodi come il calcolo delle medie mobili o l'utilizzo di regressione lineare;
- Analisi delle correlazioni: L'analisi delle correlazioni permette di valutare la relazione tra due o più variabili. Un comune strumento utilizzato in questa fase è il calcolo del coefficiente di correlazione di Pearson;
- Analisi comparativa: l'analisi comparativa è utile per confrontare le performance di diverse unità aziendali in diversi periodi di tempo. L'analisi comparativa può essere effettuata utilizzando metodi come l'analisi delle deviazioni o i benchmark;
- Analisi delle distribuzioni: l'analisi delle distribuzioni è utile per capire come i dati si distribuiscono intorno ad un valore centrale. Strumenti come il test di normalità possono essere utilizzati per valutare la distribuzione dei dati;

- Analisi di regressione: l'analisi di regressione è utile per identificare la relazione tra una variabile dipendente e una o più variabili indipendenti. Questo tipo di analisi può essere utile per fare previsioni e identificare le variabili che influenzano le performance aziendali.

Per condurre l'analisi statistica, sono disponibili diversi software e strumenti statistici come Excel, SPSS, Python, SAS e molti altri. La scelta dello strumento dipende dalle esigenze specifiche dell'analisi e dalle competenze dei ricercatori o analisti coinvolti. L'utilizzo di strumenti statistici sofisticati può migliorare la precisione e la profondità dell'analisi, consentendo alle aziende di ottenere una visione più dettagliata delle proprie performance e di identificare potenziali aree di miglioramento.

5. APPLICAZIONE PRATICA DEI KPI IN UN'AZIENDA A CARATTERE INDUSTRIALE

La difficoltà di reperimento di materie prime e il loro crescente prezzo uniti all'aumento dei prezzi dell'energia sono i principali fattori che spingono i produttori industriali a sviluppare processi di produzione sostenibili e innovativi. Gli investimenti in processi produttivi innovativi possono sembrare meno vantaggiosi in una fase iniziale di sviluppo rispetto agli investimenti in tecnologie all'avanguardia. Questo è principalmente legato alle differenze di dimensione tra le tecnologie innovative in scala dimostrativa (produzione in kg/giorno) e le tecnologie convenzionali in scala larga (produzione in tonnellate/giorno). Queste differenze devono essere prese in considerazione in una valutazione tecnologica riguardante l'efficacia e l'efficienza.

Lo sviluppo e l'implementazione di metodi di misurazione delle prestazioni utilizzando gli indicatori chiave di prestazione (KPI) supportano i produttori quantificando i processi, evidenziando le vulnerabilità potenziali, valutandole

e confrontandole con il benchmarking. Queste misure quantificabili e strategiche sono fondamentali per comprendere e migliorare le performance produttive, sia dal punto di vista dell'eliminazione degli sprechi che nel raggiungimento degli obiettivi strategici critici per il successo attuale e futuro. Sulla base dei principi industriali per la valutazione tecnologica, i KPI supportano il confronto tra diversi processi e i loro risultati all'interno di un dato settore dell'industria manifatturiera, ma sono limitati per quanto riguarda l'analisi di diverse scale di produzione e processi. Il caso di studio scelto, che è individuato in un processo industriale reale di fusione di vetri e smalti ceramici, presenta KPI che incorporano indicatori di emissioni indirette di CO_2 e NO_X per la produzione e il trasporto di materie prime e combustibili utilizzati (in particolare il gas naturale). In questo caso, è necessario utilizzare metodologie combinate di KPI e Life Cycle Assessment (LCA), una componente di valutazione introdotta solo di recente per la valutazione tecnologica e dei processi decisionali. L'applicazione di un criterio LCA è considerata necessaria per comprendere correttamente il compromesso delle emissioni che vengono "ridistribuite" tra un limite "gate-to-gate" (dicitura che si riferisce all'analisi dell'LCA di un prodotto limitata alle fasi intermedie del ciclo di vita, dall'ingresso all'uscita dello stabilimento) e processi a monte "cradle-to-gate" (dicitura che si riferisce all'analisi dell'LCA di un prodotto dalla fase di estrazione delle materie prime all'uscita dallo stabilimento; è la base di analisi per la costruzione dell'eco-profilo del prodotto, come presentato nello studio di caso esaminato).

5.1. DESCRIZIONE DEL CASO DI STUDIO

Il caso di studio preso in considerazione per evidenziare l'importanza dei KPI in campo industriale è rappresentato da un processo di lavorazione e produzione di articoli in vetro, studiato da C.Dorn, R.Behrend et al.

Il processo di lavorazione convenzionale del vetro prevede la preparazione delle materie prime, la fusione, il raffinamento e la formatura, con temperature superiori a 1500°C. L'obiettivo è la produzione di vari prodotti in vetro di forma, colore e qualità specificati. Gli smalti ceramici vengono prodotti fondendo le materie prime, in polvere, a temperature intorno a 1200°C e raffreddando il materiale fuso in acqua, ottenendo un materiale vitreo e insolubile. La grande richiesta energetica che caratterizza i processi industriali di questi materiali è principalmente legata alla limitata efficienza termica dei forni convenzionali utilizzati negli impianti. Poiché i diversi processi di produzione di calore giocano un ruolo importante per la valutazione dell'efficienza tecnologica, è stata esaminata la sostituzione dei forni convenzionali con forni innovativi con tecnologia a microonde (MW). L'applicazione del riscaldamento a microonde ha già dimostrato vantaggi in prove su scala di laboratorio per la produzione di vetri e smalti ceramici. Una versione a scala ingrandita (scala dimostrativa) di un prototipo a microonde sviluppato su scala di laboratorio è stata utilizzata per questo studio, comprensiva di un magnetrone a 915 MHz con una potenza utile di 30 kW. Il prototipo a microonde a scala ingrandita è stato utilizzato per la fusione di vetri e smalti ceramici. Il consumo energetico del magnetrone è stato misurato direttamente da un misuratore di potenza all'alimentazione.

5.2. RACCOLTA DATI E ANALISI DEI KPI

La valutazione del Ciclo di Vita (LCA) è una metodologia che stima l'impatto ambientale dei processi e dei prodotti durante l'intero ciclo di vita. L'approccio convenzionale dell'LCA è diviso in quattro fasi.

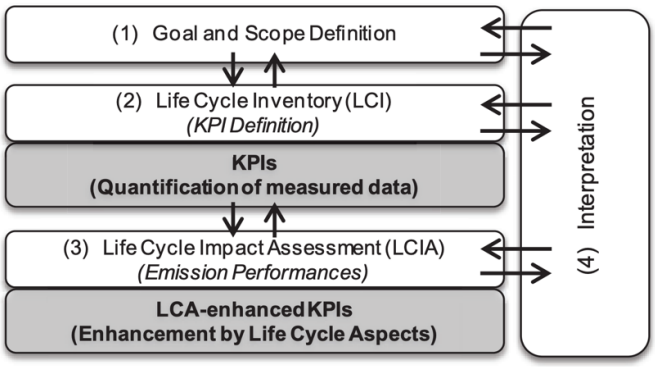


Figura 1 – Approccio metodologico per lo studio dei KPI potenziati dall'LCA

Nella prima fase (1), i KPI potenziati dall'LCA (LCA-enhanced KPIs) si concentrano sulla valutazione dell'intero processo produttivo di materiali in vetro e smalti ceramici, basandosi sia su sistemi di riscaldamento convenzionali che a microonde.

La seconda fase (2) della metodologia riguarda la raccolta di tutte le informazioni necessarie per la valutazione del consumo (input) e gli output dei processi produttivi (LCI – Life-Cycle-Inventory). Una comprensione approfondita del processo è significativa in questa fase per definire e identificare i KPI rilevanti in termini di consumo di energia ed emissioni per la valutazione dei processi esaminati. Inoltre, i KPI possono essere quantificati direttamente attraverso la misurazione dei flussi di materiale.

Nella terza fase (3), la valutazione delle prestazioni delle emissioni dei KPI quantificati arricchisce lo studio con aspetti del ciclo di vita (LCIA – Life-Cycle Impact Assesment). Infatti, i risultati dell'LCA non vengono presentati attraverso indicatori ambientali comuni, come il Potenziale di Riscaldamento Globale, l'Acidificazione e l'Eutrofizzazione, ma si concentrano sulle emissioni di CO_2 e NO_X per tonnellata di materiale. I principali obiettivi dello studio dei KPI potenziati dall'LCA sono la valutazione e il confronto degli impatti ambientali dei diversi processi produttivi. La metodologia applicata fornisce diversi vantaggi per i decisori, anche se è evidente che i KPI possono essere misurati e

applicati solo dopo che una nuova tecnologia è stata già implementata. I benefici includono l'identificazione di opportunità per migliorare le prestazioni ambientali di prodotti e tecnologie, l'adozione di nuove tecnologie e l'interpretazione facilitata da parte degli utenti finali grazie ai risultati quantitativi.

L'LCA rappresenta una base considerevole per l'identificazione dei KPI come quei parametri che sono di particolare importanza per la valutazione di un processo. In particolare, l'LCA si concentra sulla valutazione dell'intero processo produttivo, basato su sistemi di riscaldamento ad alta temperatura. Diversi materiali, consumo energetico ed efficienza energetica sono stati presi in considerazione in termini di KPI associati alle soluzioni proposte lungo il ciclo di vita "cradle-to-gate", dei prodotti. Poiché la principale differenza tra il sistema CONV e MW è rappresentata dalla fase di fusione (processo principale), i limiti del sistema LCA sono applicati per questa fase al fine di generare un'unità funzionale di 1 t di vetro e smalti ceramici come prodotto finale. Altre fasi del ciclo di vita, ad esempio l'utilizzo e la fine del ciclo di vita del prodotto, sono escluse dall'analisi, poiché rappresentano fasi comuni a tutte le alternative e contribuiscono agli stessi impatti ambientali. Il gas naturale viene normalmente utilizzato nei forni di fusione CONV come mezzo di riscaldamento, mentre il forno a microonde utilizza l'elettricità. Tutte le informazioni necessarie sui consumi (energia e materiali) e gli output (emissioni) sono state raccolte da tutte le fasi dei processi produttivi. I KPI relativi ad entrambi i processi (CONV e MW) sono stati quantificati considerando dati medi dell'industria e dati presenti in letteratura. I dati relativi al trattamento termico MW sono stati ricavati da esperimenti su scala dimostrativa.

Per lo svolgimento di questo caso di studio, la metodologia dei KPI è stata affinata escludendo gli indicatori di natura economica, lavorando

sulla conversione di questi ultimi in fattori che riflettano aspetti aziendali, logistici e finanziari. Questo adattamento è stato realizzato con l'intento di consentire un'applicazione più approfondita nelle decisioni aziendali ai livelli decisionali superiori.

L'obiettivo primario di questo approccio è fornire uno strumento di valutazione tecnologica dettagliato, idoneo all'applicazione su diverse linee di produzione e processi tecnologici.

Dopo una valutazione comune in termini di linea di base tra i processi CONV e MW, la quantificazione finale è stata realizzata personalizzando i KPI finali per i processi produttivi secondo le regole di standardizzazione. Pertanto, tutti i KPI sono stati selezionati dalle pratiche industriali per agevolare il rispetto degli standard pertinenti, migliorare la visibilità nel settore e supportare la gestione delle operazioni di produzione. In particolare, sono stati definiti e quantificati sei indicatori di prestazione come riportato nella Tabella 1. I tre KPI legati all'energia si riferiscono all'intera linea di produzione, compresa la preparazione delle materie prime e il processo successivo. I tre KPI ambientali sono collegati alle emissioni dirette (cradle-to-gate), principalmente dovute all'ingresso di materie prime e alla combustione dei combustibili fossili durante il processo, nonché alle emissioni di generazione di elettricità. Pertanto, per ogni materiale e processo produttivo esaminato, le emissioni e le risorse consumate sono definite, calcolate e documentate attraverso i valori dei KPI nell'ACV.

KPI No.	Energy-related KPI	Unit
1	Specific Fuel Consumption	kWh/t
2	Specific Electricity Consumption	kWh/t
3	Throughput Rate	t/d
KPI No.	Environmental KPI	Unit
4	Specific net CO_2 emissions	kg/t of product
5	Specific NO_x emissions	kg/t of product
6	Specific SO_x emissions	kg/t of product

Tabella 1 – Set di KPI secondo ISO 22400-2:2014 e ISO 19694-1:2014

5.3. RISULTATI E INTERPRETAZIONE DELL'ANALISI DEI KPI

5.3.1. KPI RELATIVI ALL'ENERGIA

I risultati sperimentali dei KPI legati all'energia sono riportati nella Tabella 2 per il forno a microonde innovativo MW e per i dati industriali relativi ad applicazioni su piccola e grande scala. Secondo i dati presentati nella Figura 2, "CONV small" si riferisce all'impianto esistente con una capacità minima, mentre "CONV large" si riferisce alla capacità di utilizzo standard dell'impianto. I KPI legati all'energia mostrano un grande vantaggio del processo MW rispetto a processi comparabili su piccola scala. Tuttavia, è da considerare che le differenze dovranno essere ponderate in quanto è evidente che il processo su grande scala, CONV large, è più efficiente. Ciò è dovuto al fatto che il consumo specifico di energia dei forni ad alta temperatura è spesso legato alla dimensione e alla capacità di produzione. I forni più grandi sono più efficienti delle installazioni su piccola scala. Per tale motivo, poiché i KPI offrono possibilità di confronto dei forni a un livello di base, è necessario considerare la dimensione di un forno per ottenere un confronto "equo". La Figura 2 mostra il consumo specifico di energia di diverse dimensioni di forni per la fusione del vetro con diverse capacità produttive. Le metodologie di riscaldamento vanno dall'elettricità alla combustione di ossigeno. I dati mostrati includono quasi tutti i tipi di forni e applicazioni. Sebbene le differenze indotte dalle dimensioni siano chiaramente visibili, va notato che prodotti diversi comportano anche consumi specifici di energia diversi. L'adattamento mostrato nella Figura 2 è una funzione di potenza, che segue la forma $f(x) = a \cdot x^{(-b)} + c$ e fornisce un metodo semplice per decidere se un forno funziona

in modo più o meno efficiente rispetto a un numero rappresentativo di altri forni. Inoltre, mostra che i consumi specifici di energia per i forni di piccole dimensioni sono più alti rispetto alle installazioni su grande scala. La maggior parte dei dati disponibili in letteratura derivano da forni alimentati con gas naturale. I forni alimentati a carbone sono stati esclusi poiché la tecnologia è obsoleta e comporta consumi specifici di energia molto elevati. Dalla Figura 2 si può osservare che solo un confronto tra forni della stessa scala porta a risultati utili, pertanto, l'utilizzo del riscaldamento a microonde, potrebbe offrire risparmi significativi rispetto ai metodi di riscaldamento convenzionali per sistemi con una capacità produttiva simile, con potenziali risparmi energetici di almeno il 50%. I risultati sul consumo specifico di energia per il vetro possono essere applicati anche agli smalti ceramici. Tuttavia, non sempre sono disponibili dati per installazioni di scala comparabile. Possiamo quindi concludere che la valutazione dei KPI potenziati dall'ACV può fornire i risultati necessari per consentire il calcolo dei KPI e un confronto imparziale.

No.	KPI Glass (Gl)	Unit	MW demo	CONV small	CONV large
1	Sp. Fuel Consumption	kWh/t	42.9	42.9	786.0
2	Sp. Elec. Consumption	kWh/t	1,859.0	2,398.0	141.4
3	Throughput Rate	t/d	0.14	0.38	450
No.	KPI Ceramic Frits (CF)	Unit	MW demo	CONV small	CONV large
1	Sp. Fuel Consumption	kWh/t	0.0	15,339.0	2,900.0
2	Sp. Elec. Consumption	kWh/t	1,223.0	170.0	114.0
3	Throughput Rate	t/d	0.24	0.36	22.0

Tabella 2 – Microonde su scala dimostrativa (demo MW), convenzionale su piccola scala (CONV small) e convenzionale su larga scala (CONV large). KPI per vetro (GI) e fritte ceramiche (CF). I valori si riferiscono

ai limiti della fabbrica (intera linea di produzione compresa la preparazione delle materie prime e la raffinazione/formatura del vetro)

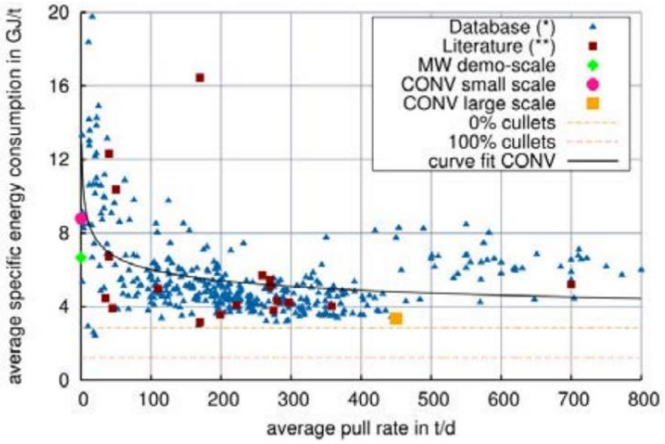


Figura 2 – Consumo energetico specifico della produzione di vetro rispetto al pull-rate. I valori di letteratura di sistemi convenzionali e valori misurati dai processi MW. La linea "0% cullets" mostra il consumo minimo di calore pratico per la produzione di vetro da contenitore da materia prima grezza, mentre la linea "100% cullets" mostra l'utilizzo di materiali 100% riciclati.

5.3.2. KPI AMBIENTALI

La Tabella 3 mostra i dati dei KPI misurati per il forno a microonde MW e per i forni convenzionalmente utilizzati nei processi industriali per la produzione di vetri e smalti ceramici. È evidente una diminuzione delle emissioni di CO_2 per il forno MW. La riduzione di tali emissioni nette proviene principalmente dall'uso parziale di energia rinnovabile, che accompagna una impronta di CO_2 significativamente più piccola rispetto alla combustione di combustibili convenzionali. Quindi, rispetto alle installazioni su piccola scala CONV, il sistema MW è competitivo, con emissioni notevolmente inferiori di CO_2 e NO_x nonostante emissioni leggermente maggiori di SO_x. È importante notare che i forni per il vetro su grande scala sono molto più grandi dei forni per gli smalti ceramici su grande scala di un ordine di grandezza, il che spiega perché gli effetti di scala sulle emissioni di CO_2 negli smalti ceramici non sono così elevati come nelle emissioni di CO_2 nel vetro.

No.	KPI Glass (Gl)	Unit	MW demo	CONV small	CONV large
4	Sp. CO_2 emissions	kg/t	1,313.7	1,668.0	304.5
5	Sp. NO_x emissions	kg/t	4.42	5.54	2.2
6	Sp. SO_x emissions	kg/t	8.18	10.54	3.24
No.	KPI Ceramic Frits (CF)	Unit	MW demo	CONV small	CONV large
4	Sp. CO_2 emissions	kg/t	793.0	3,321.0	766.0
5	Sp. NO_x emissions	kg/t	6.7	8.86	7.93
6	Sp. SO_x emissions	kg/t	4.7	1.0	0.71

Tabella 3 – Microonde su scala dimostrativa (MW), convenzionale su piccola scala (CONV small) e convenzionale su larga scala (CONV large). KPI per vetro (GI) e fritte ceramiche (CF). I valori si riferiscono alle emissioni dirette e ad emissioni della produzione di energia elettrica.

5.3.3. KPI POTENZIATI DALL'LCA (LCA-enhanced KPI)

L'obiettivo di questo studio è investigare l'impatto ambientale del sistema innovativo di riscaldamento a microonde nella lavorazione di vetro e di smalti ceramici. I risultati ottenuti vengono confrontati con i corrispondenti risultati ottenuti da un processo di produzione CONV equivalente al fine di valutare l'impatto ambientale totale delle diverse tecnologie, considerando gli effetti di scala. Le limitazioni principali del sistema investigati per entrambi i materiali includono:

1. Estrazione/trasporto di materie prime, estrazione/trasporto di combustibili e generazione di elettricità ("cradle-to-gate");
2. Macinazione e preparazione delle materie prime (processo a monte);
3. Calcinazione e fusione della miscela di materie prime (processo principale);
4. Processi di formatura e raffreddamento (processo a valle) per generare una tonnellata di vetro e una tonnellata smalti ceramici come prodotto finale.

Tenendo conto della raccolta intensiva di dati per l'analisi dell'inventario, i dati utilizzati nell'ACV sono tratti da dati medi dell'industria, dati presenti in letteratura e derivati da esperimenti.

Tutti i dati sono rappresentati con set di dati standard dell'ACV disponibili nel software SimaPro 7.3 con il database commerciale Ecoinvent 2.2. L'input di elettricità considerato è stato modellato applicando requisiti specifici del progetto (mix energetico portoghese per le linee di produzione del vetro e mix energetico spagnolo per la produzione di smalti ceramici). In generale, l'uso di dati secondari nella fase dell'inventario introduce diverse incertezze nei risultati dell'ACV. Al fine di ridurre queste incertezze e migliorare l'accuratezza dei risultati, i dati rilevanti sono stati modificati in base alle pratiche dei fornitori e dei produttori europei.

I risultati dell'ACV sono discussi in termini di KPI potenziati dall'ACV per le emissioni di CO_2 e NO_x, poiché rappresentano i principali problemi ambientali del processo di produzione CONV. Le emissioni di ossidi di zolfo non sono al centro dell'attenzione, poiché sono principalmente legate al contenuto di zolfo delle materie prime e alla combustione del carbone nella produzione di energia.

L'impatto ambientale di una tonnellata di materiale di vetro prodotto sia mediante il processo MW che mediante i processi CONV (scala grande e scala piccola) è essenzialmente riconducibile al processo termico principale (fase di fusione) dei materiali. In tutti i casi investigati, questo processo rappresenta circa il 90% dell'onere ambientale totale, mentre le altre fasi contribuiscono in quantità trascurabili. L'impatto ambientale della preparazione della miscela (a monte) e dei processi di formatura (a valle) costituisce rispettivamente circa il 4% e l'1% del carico ambientale totale. Valori simili si applicano anche al caso degli smalti ceramici. Anche in questo caso, i risultati dell'analisi dell'ACV rivelano che gli

impatti ambientali principali sono legati alla fusione della miscela di materie prime per tutti i processi. Infatti, questa fase sembra avere il maggiore impatto ambientale, che varia dal 60% al 90% del carico totale in tutte le categorie dell'ACV.

Considerando i KPI potenziati dall'ACV per le emissioni di CO2, sia per il vetro che per gli smalti ceramici, le installazioni su scala piccola CONV presentano il maggiore impatto ambientale. Questo risultato è influenzato principalmente dal maggiore consumo di energia nella fase di fusione, specialmente nel caso degli smalti ceramici. La produzione di vetro tramite il sistema MW presenta una performance ambientale di CO2 inferiore del 21% rispetto alla scala piccola CONV. Al contrario, la tecnologia MW nel caso degli smalti ceramici ottiene una considerevole riduzione delle emissioni di gas serra rispetto ai casi CONV su scala piccola e grande. Il forno a microonde MW presenta un impatto ambientale fino al 73% inferiore rispetto all'impatto dei processi CONV.

Inoltre, considerando i KPI potenziati dall'ACV per le emissioni di NO_x, il caso CONV su scala piccola presenta il maggiore impatto ambientale per entrambi i prodotti considerati. Per quanto riguarda la produzione di vetro, entrambi i casi su scala piccola (MW e CONV su scala piccola) non presentano emissioni di NO_x legate alla combustione. Entrambi beneficiano anche dall'evitare la produzione corrispondente di gas naturale, che è piuttosto intensa in termini di emissioni di NO_x. Il caso MW richiede meno elettricità rispetto all'impianto CONV su scala piccola, emettendo quindi meno emissioni corrispondenti. Inoltre, si osserva una considerevole riduzione delle emissioni di NO_x nel caso MW per gli smalti ceramici, anche in confronto all'impianto su grande scala.

Tutti i risultati mostrano il compromesso tra emissioni dirette e indirette.

Nel caso del vetro, il passaggio da CONV (sia scala grande che scala piccola) a MW comporta la riduzione delle emissioni dirette derivanti dall'estrazione, dal trasporto e dalla combustione dei combustibili, tuttavia queste vengono sostituite dalle emissioni indirette derivanti dalla generazione di elettricità. Le emissioni dovute al processo di lavorazione delle materie prime sono comuni a tutti e tre i metodi alternativi di produzione, mentre le emissioni indirette "cradle-to-gate" sono determinate dalla fonte di energia specifica.

Per quanto riguarda la produzione di smalti ceramici, dove sia gli impianti CONV su scala grande su che scala piccola operano con il gas naturale, le emissioni dirette rimangono dominanti. Nel caso MW, la proporzione maggiore è occupata dalle emissioni indirette dovute alla generazione di elettricità e ai processi "cradle-to-gate".

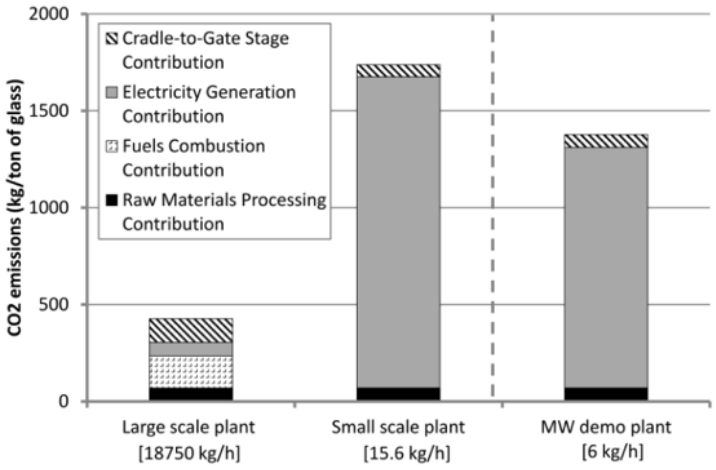


Figura 3 – Confronto di KPI potenziati dall'LCA delle emissioni di CO_2 della produzione di vetro tra scala dimostrativa microonde (MW) convenzionale su larga scala e su piccola scala.

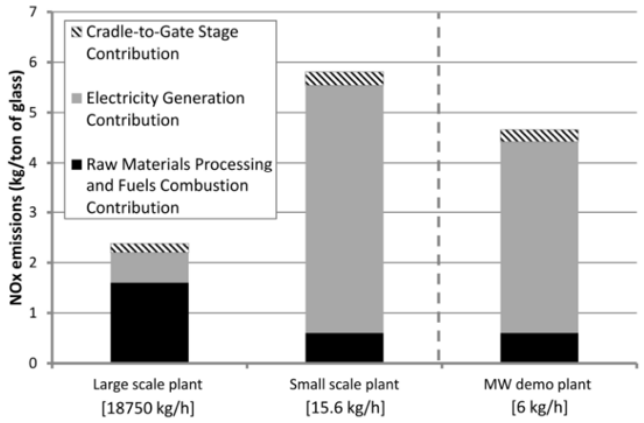


Figura 4 – Confronto di KPI potenziati dall' LCA delle emissioni di NO_x della produzione di vetro tra scala dimostrativa microonde (MW) convenzionale su larga scala e su piccola scala.

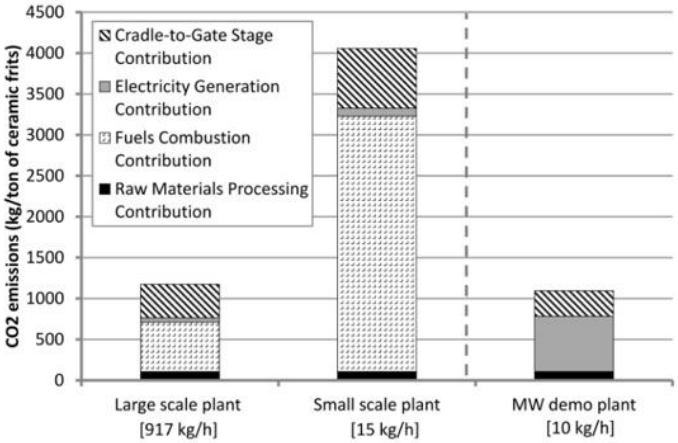


Figura 5 – Confronto di KPI potenziati dall'LCA delle emissioni di CO_2 della produzione di fritte ceramiche tra scala dimostrativa microonde (MW) convenzionale su larga scala e su piccola scala.

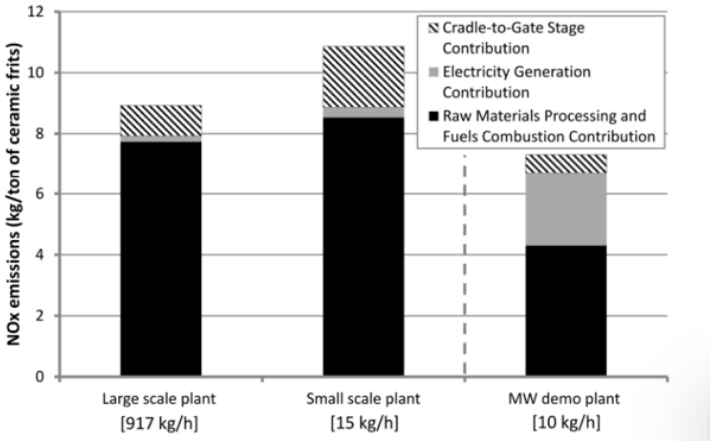


Figura 6 – Confronto di KPI potenziati dall'LCA delle emissioni di NO_x della produzione di fritte ceramiche tra scala dimostrativa microonde (MW) convenzionale su larga scala e su piccola scala.

5.4. CONCLUSIONE CASO DI STUDIO

Lo scopo di questo studio è quello di supportare i processi decisionali confrontando tecnologie di produzione convenzionali con tecnologie innovative mediante il contributo di vari tipi di KPI, analizzati per valutazioni di convenienza in termini di consumi di energia e di sostenibilità ambientale.

È stato condotto uno studio sui processi di produzione industriale di materiali vetrosi e di smalti ceramici con un elevato consumo di energia. Questo ha coinvolto un forno innovativo a microonde, che ancora non ha raggiunto applicazioni su scala industriale e pertanto le informazioni rilevanti sulle sue prestazioni in condizioni reali e su capacità più elevate non sono disponibili.

Tuttavia, questo lavoro fornisce elementi per una valutazione tecnologica a un livello inferiore al fine di fornire strumenti di valutazione che possano essere utilizzati in diverse linee di produzione e processi tecnologici, nonché un importante feedback sullo stato attuale della ricerca sui forni a microonde, riguardo al potenziale di risparmio energetico e di riduzione delle emissioni delle nuove tecnologie.

Considerando i KPI legati all'energia e considerando gli effetti di scala della dimensione dell'impianto esaminato, è possibile dimostrare che il consumo complessivo di energia può essere ridotto fino al 50% utilizzando la tecnologia a microonde anche quando confrontata con un impianto convenzionale su scala completa. Inoltre il consumo di energia viene spostato da combustibili fossili all'energia elettrica, che può essere prodotta da fonti rinnovabili. I risultati potrebbero non essere cambiati in modo drastico con l'estensione del confine di sistema esaminato tramite l'approccio del ciclo di vita; tuttavia, l'output necessita di molte più informazioni.

La distinzione tra emissioni dirette e indirette può facilitare studi pertinenti, considerando un futuro mix di elettricità "più pulito", rafforzando così i vantaggi del sistema a microonde.
La metodologia dei KPI potenziata dall'ACV sviluppata, è un approccio importante per identificare i punti critici ambientali e quantificare i compromessi in termini di impatti corrispondenti. Essa rappresenta anche un supporto considerevole per situazioni di processo decisionale e affronta la questione della promozione di nuove tecnologie innovative.

6. IMPATTO DEI KPI SULLE PERFORMANCE AZIENDALI

In questo paragrafo verrà esposto l'impatto che i KPI hanno sulle performance aziendali per comprendere come le metriche di performance possono influenzare i risultati complessivi di un'azienda, prima da un punto di vista generale e successivamente da un punto di vista operativo.

6.1. ANALISI DELLE CORRELAZIONI TRA I KPI E I RISULTATI AZIENDALI

L'analisi delle correlazioni tra i KPI e i risultati aziendali costituisce una fase significativa del percorso di miglioramento delle performance complessive dell'azienda. Questo tipo di analisi consente di identificare quali KPI sono più fortemente associati ai risultati aziendali desiderati e di valutare l'efficacia delle strategie e delle azioni implementate.
Per condurre un'analisi delle correlazioni tra i KPI e i risultati aziendali, è necessario raccogliere dati accurati sia sui KPI sia sui risultati aziendali. I dati dei KPI possono includere metriche come la redditività, la crescita delle vendite, la soddisfazione del cliente, l'efficienza operativa, il livello di qualità, il tasso di rotazione del personale, ecc.
I dati dei risultati aziendali possono essere misurati attraverso indicatori finanziari, indicatori di performance operativa o qualsiasi altro parametro rilevante per l'azienda.

Una volta raccolti i dati, è possibile utilizzare metodi statistici per analizzare le correlazioni tra i KPI e i risultati aziendali. L'analisi delle correlazioni può essere effettuata attraverso tecniche come la regressione lineare, l'analisi delle componenti principali o altri metodi multivariati.

L'obiettivo è identificare le relazioni forti e significative tra i KPI e i risultati aziendali, evidenziando quali metriche di performance hanno un impatto maggiore sulla performance complessiva dell'azienda.

L'analisi delle correlazioni può portare a diverse scoperte e conclusioni, ad esempio potrebbe emergere che un determinato KPI, come la soddisfazione del cliente, sia fortemente correlato con il tasso di crescita delle vendite, ciò suggerirebbe che concentrarsi sul miglioramento della soddisfazione del cliente potrebbe avere un impatto significativo sulle prestazioni finanziarie dell'azienda. Al contrario, potrebbe emergere che alcuni KPI non sono correlati o hanno una correlazione debole con i risultati aziendali, indicando la necessità di rivedere o riconsiderare tali metriche.

L'analisi delle correlazioni tra i KPI e i risultati aziendali richiede una valutazione critica e una comprensione del contesto specifico dell'azienda. È importante considerare fattori esterni come le dinamiche del mercato o gli eventi economici che potrebbero influenzare le correlazioni identificate, inoltre, è consigliabile condurre analisi periodiche delle correlazioni per tenere conto delle eventuali modifiche nel tempo e per valutare l'efficacia delle strategie di miglioramento implementate.

In conclusione, l'analisi delle correlazioni tra i KPI e i risultati aziendali fornisce informazioni preziose sull'efficacia delle metriche di performance utilizzate e sulle relazioni tra prestazioni e risultati complessivi. Questo tipo di analisi supporta il processo decisionale e

consente alle aziende di concentrarsi sui KPI più significativi per guidare il miglioramento e il successo aziendale.

6.2. VALUTAZIONE DELL'IMPATTO DEI KPI SULLA PRODUTTIVITÀ E L'EFFICIENZA AZIENDALE

La valutazione dell'impatto dei KPI sulla produttività e sull'efficienza aziendale è un aspetto cruciale del percorso di miglioramento delle prestazioni aziendali.

La valutazione dell'impatto dei KPI sulla produttività implica l'analisi di come questi indicatori influenzano le strategie imprenditoriali applicate per aumentare le prestazioni operative e la capacità dell'azienda di produrre beni o servizi in modo efficiente. Ad esempio un KPI legato alla velocità di produzione può essere utilizzato per misurare il tempo impiegato per completare un processo specifico di produzione, e monitorando e migliorando questo KPI, un'azienda può identificare opportunità per aumentare la produttività e ridurre i tempi di produzione.

L'efficienza aziendale è un'altra area di interesse nella valutazione dell'impatto dei KPI in quanto gli indicatori di efficienza misurano la capacità di un'azienda di utilizzare le risorse in modo ottimale per raggiungere i risultati desiderati, ad esempio un KPI legato all'utilizzo delle materie prime può essere utilizzato per monitorare la quantità di materiale sprecato durante il processo produttivo.

Identificando e affrontando le aree di inefficienza, un'azienda può migliorare la sua capacità di utilizzare le risorse in modo efficiente e ridurre i costi di produzione.

La valutazione dell'impatto dei KPI sulla produttività e sull'efficienza aziendale richiede un'analisi approfondita dei dati e delle prestazioni aziendali. È importante identificare i KPI più rilevanti per l'azienda e

stabilire obiettivi chiari e misurabili. È inoltre necessario monitorare regolarmente i KPI e confrontare i risultati con gli obiettivi stabiliti per valutare l'efficacia delle azioni correttive e apportare eventuali miglioramenti.

In conclusione, la valutazione dell'impatto dei KPI sulla produttività e sull'efficienza aziendale è un processo fondamentale per identificare le aree di miglioramento e guidare le decisioni strategiche. Utilizzando i KPI in modo efficace, un'azienda può ottimizzare le proprie prestazioni operative e raggiungere obiettivi di business in modo più rapido e durevole nel tempo.

7. MIGLIORAMENTO CONTINUO E OTTIMIZZAZIONE DEI KPI

7.1. IDENTIFICAZIONE DI AREE DI MIGLIORAMENTO BASATE SUI KPI

L’identificazione di aree di miglioramento basate sui KPI è un processo critico per le aziende che desiderano ottimizzare le proprie performance. Per identificare le aree di miglioramento, è necessario analizzare i KPI esistenti e confrontarli con gli obiettivi strategici dell’azienda. Ciò coinvolge la valutazione delle performance attuali rispetto ai target desiderati e l’individuazione di eventuali scostamenti o lacune.

Un’analisi approfondita dei KPI può evidenziare le aree in cui l’azienda sta incontrando difficoltà o sotto-performance, ad esempio, se un KPI legato alla qualità del prodotto mostra risultati al di sotto degli standard richiesti, ciò potrebbe indicare la necessità di miglioramenti nel processo di produzione o nel controllo della qualità. L’identificazione delle aree di miglioramento può essere supportata da ulteriori analisi dei dati aziendali, ad esempio, l’analisi delle tendenze storiche dei KPI può rivelare pattern o fluttuazioni che richiedono interventi correttivi.

L’analisi comparativa dei KPI tra le diverse unità aziendali in diversi periodi temporali può anche evidenziare opportunità di miglioramento e azioni pratiche da adottare.

Una volta identificate le aree di miglioramento, è importante stabilire obiettivi specifici e misurabili per guidare le azioni correttive. Questi obiettivi dovranno essere compatibili con la strategia aziendale e gli indicatori di performance chiave selezionati dovranno essere in grado di evidenziare che gli sforzi di miglioramento siano direzionati verso risultati significativi.

In conclusione, l’identificazione di aree di miglioramento basate sui KPI è un passo essenziale per le aziende che cercano di ottimizzare le proprie performance.

Attraverso l’analisi dei KPI presi in considerazione, l’individuazione delle lacune e l’assegnazione di obiettivi di miglioramento, le aziende possono concentrare i propri sforzi e risorse per ottenere risultati misurabili e sostenibili.

7.2. SUGGERIMENTI E RACCOMANDAZIONE PER L’OTTIMIZZAZIONE DEI KPI

Nel processo di ottimizzazione dei KPI, è importante prendere in considerazione alcune raccomandazioni e suggerimenti per garantire risultati efficaci e duraturi. Di seguito sono riportati alcuni suggerimenti utili per l’ottimizzazione dei KPI:

- Allineare i KPI agli obiettivi aziendali: assicurarsi che i KPI selezionati siano in linea con la strategia e gli obiettivi globali dell’azienda. È fondamentale che i KPI riflettano gli aspetti chiave che contribuiscono al successo aziendale;
- Scegliere KPI significativi e rilevanti: selezionare KPI che siano pertinenti per il settore e l'attività specifica dell'azienda. I KPI

dovrebbero essere misurabili, chiari e fornire informazioni utili sulla performance aziendale;

- Stabilire valori di riferimento e obiettivi: definire valori di riferimento e obiettivi specifici per ciascun KPI. Questi valori servono come punto di riferimento per valutare il progresso e identificare eventuali scostamenti che richiedono azioni correttive;
- Monitorare regolarmente i KPI: assicurarsi di monitorare i KPI in modo regolare e accurato. Utilizzare strumenti di monitoraggio adeguati a raccogliere dati e informazioni pertinenti. Ciò consente di rilevare tempestivamente eventuali deviazioni o trend negativi;
- Analizzare e interpretare i dati dei KPI: condurre analisi approfondite dei dati dei KPI per identificare tendenze, pattern o anomalie. L'interpretazione dei dati può fornire informazioni preziose sulle cause di eventuali scostamenti e aiutare a prendere decisioni informate per migliorare le performance;
- Coinvolgere le parti interessate: coinvolgere le parti interessate chiave nell'ottimizzazione dei KPI, ciò include il coinvolgimento dei dipendenti, dei dirigenti e di altri stakeholder rilevanti per garantire una comprensione condivisa e un impegno collettivo nell'ottenere risultati positivi;
- Adattare e migliorare i KPI: i KPI non sono fissi, ma possono essere adattati e migliorati nel tempo. Valutare regolarmente l'efficacia dei KPI e apportare modifiche o aggiornamenti se necessario. Mantenere i KPI allineati con le esigenze aziendali in evoluzione;
- Comunicare i risultati dei KPI: Comunicare in modo trasparente i risultati dei KPI a tutte le parti interessate. Questo favorisce

l’assunzione di responsabilità, e stimola un ambiente di apprendimento e miglioramento continuo;

- Integrare i KPI nel processo decisionale: utilizzare i KPI come base per prendere decisioni strategiche e operative. I KPI forniscono dati e informazioni oggettive che aiutano a valutare le opzioni e guidare le scelte aziendali;
- Monitorare l'efficacia delle azioni correttive: dopo aver effettuato azioni correttive basate sui KPI, monitorare l'efficacia di tali azioni, valutare se le misure intraprese hanno portato ai risultati desiderati e apportare eventuali modifiche o miglioramenti.

Seguendo questi suggerimenti e raccomandazioni, le aziende possono ottimizzare l'uso dei KPI e migliorare le proprie performance in modo significativo. L'ottimizzazione dei KPI è un processo continuo che richiede impegno e attenzione costante, ma può fornire vantaggi significativi nel raggiungimento degli obiettivi aziendali

8. CONCLUSIONI

In conclusione, l’analisi approfondita dei risultati ottenuti con l’applicazione degli indicatori chiave di prestazione (KPI) allo studio delle performance aziendali nel settore industriale, ha fatto emergere che tali indicatori svolgono un ruolo chiave nei vari processi di miglioramento nel settore d’interesse, in quanto hanno la capacità di fornire una visione chiara e misurabile delle prestazioni aziendali.

I KPI consentono alle aziende di valutare il raggiungimento degli obiettivi aziendali, identificare le aree di miglioramento e prendere decisioni informate.

La metodologia di ricerca utilizzata ha permesso di selezionare i KPI più pertinenti per il settore industriale, considerando le fonti di dati disponibili e le specificità delle aziende.

Gli studi sino ad oggi condotti sono in grado di fornire valide indicazioni per valutare i vari KPI e per personalizzarli in base alle esigenze delle singole aziende.

Inoltre, è emerso che l'ottimizzazione dei KPI richiede un impegno costante nel monitoraggio, nell'interpretazione dei dati e nell'adattamento delle misure correttive adottate. Inoltre, nei percorsi di miglioramento delle performance aziendali, è fondamentale coinvolgere le parti interessate e comunicare in modo trasparente i risultati dei KPI per garantire un ambiente di apprendimento e miglioramento continuo.

L'intento di questo elaborato è quello di evidenziare che i KPI non sono solo indicatori di performance, ma rappresentano strumenti strategici per prendere decisioni aziendali informate e guidare il miglioramento continuo in quanto l'uso efficace dei KPI può portare a risultati significativi, nell'aumento dell'efficienza operativa, nella riduzione dei costi, nella maggiore soddisfazione del cliente e nella maggiore competitività sul mercato.

L'adozione di una strategia basata sui KPI può fornire alle aziende un vantaggio competitivo significativo e supportare il loro cammino verso il successo aziendale sostenibile e duraturo.

9. BIBLIOGRAFIA

- Anand, N., & Grover, N. (n.d.). *Measuring retail supply chain performance Theoretical model using key performance indicators (KPIs)*. https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2012-0034
- Carlucci, D. (n.d.). *Evaluating and selecting key performance indicators: an ANP-based model*. https://doi.org/10.1108/13683041011047876
- Dorn, C., Behrend, R., Giannopoulos, D., Napolano, L., James, V., Herrmann, A., Uhlig, V., Krause, H., Founti, M., & Trimis, D. (2016). *A systematic LCA-enhanced KPI evaluation towards sustainable manufacturing in industrial decision-making processes. A case study in glass and ceramic frits production*. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.146
- Ishaq Bhatti, M., Awan, H. M., Razaq, Z., Ishaq Bhatti CBE, M., & Ishaq Bhatti FBEL, M. (2014). The key performance indicators (KPIs) and their impact on overall organizational performance. *Qual Quant*, *48*, 3127–3143. https://doi.org/10.1007/s11135-013-9945-y
- Karl, A. A., Micheluzzi, J., Leite, L. R., & Pereira, C. R. (2018). Supply chain resilience and key performance indicators: a systematic literature review. *Production*, *28*, e20180020. https://doi.org/10.1590/0103-6513.20180020
- Lindberg, C.-F., Tan, S., Yan, J., & Starfelt, F. (2015a). *ScienceDirect Key performance indicators improve industrial performance*. 1785–1790. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.474
- Lindberg, C.-F., Tan, S., Yan, J., & Starfelt, F. (2015b). *ScienceDirect Key performance indicators improve industrial performance*. 1785–1790. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.474
- Meier, H., Lagemann, H., Morlock, F., & Rathmann, C. (2013). *ScienceDirect 2 nd International Through-life Engineering Services Conference Key performance indicators for assessing the planning and delivery of industrial services*. https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.07.056
- Ozgur Sanjeev Jha Madison Wallner, C. (2022). R, Python, Excel, SPSS, SAS, and MINITAB in Banking Research. *Research Article in AIMS International Journal of Management*, *16*(1), 51–65. https://doi.org/10.26573/2022.16.1.4
- *Understanding Return on Investment - George T. Friedlob, Franklin J. Plewa, Jr. - Google Libri*. (n.d.). Retrieved July 23, 2023, from https://books.google.it/books?hl=it&lr=&id=WROeaDUXOpkC&oi=fnd&pg=PA1&dq=return+on+investment&ots=Yj_ZG0hfT3&sig=7qbqZmUYHVKxCCpPFU_2G4Gj7zo&redir_esc=y#v=onepage&q=return%20on%20investment&f=false
- *ISO 22400-2:2014: Automation systems and integration — Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management - Part 2: Definitions and descriptions, 2014*
- Dorn, C. et al.: K*PI and LCA Evaluation of Integrated Microwave Technology for High Temperature Processes, Procedia CIRP, Vol. 29, p. 492-497*, DOI:10.1016/j.procir.2015.02.033, 2015

10. SITOGRAFIA

- https://www.gema.it/blog/marketing-comunicazione-e-management/kpi-significato/#:~:text=Definizione%20e%20significato,in%20funzione%20degli%20obiettivi%20prestabiliti
- https://www.opta.it/operations-management/lean-production/definizione-calcolo-oee#:~:text=Cosa%20%C3%A8%20l'OEE%3F,Efficienza%20Globale%20dell'intero%20Impianto
- https://www.mainsim.com/academy/mtbf/
- https://bim.acca.it/mttr-mean-time-to-repair-cosa-e-come-si-calcola/
- https://insightsoftware.com/blog/30-manufacturing-kpis-and-metric-examples/
- https://www.fresialluminio.com/certificazioni/ambiente/lca/lca-glossario.html

11. RINGRAZIAMENTI

A conclusione di questo elaborato, vorrei dedicare uno spazio per ringraziare tutti coloro che mi hanno accompagnato nel mio corso di studi.

Vorrei prima di tutto ringraziare la mia famiglia per l'immenso supporto che mi ha dato e che mi continua a dare ogni giorno, spronandomi a fare sempre di più per raggiungere i miei obiettivi.

Un grazie anche a tutti gli amici che, sia nei momenti belli che in quelli più duri, mi sono rimasti vicini e hanno cercato di alleggerire le mie preoccupazioni supportandomi, ascoltandomi e donandomi parole di conforto.

Desidero infine esprimere la mia riconoscenza a tutti i docenti che ho incontrato durante questo percorso universitario per aver svolto un ruolo fondamentale nella mia formazione culturale e personale.