



SIEMENS DIGITAL INDUSTRIES SOFTWARE

Schedulazione sostenibile

Utilizzare la pianificazione e la schedulazione avanzate per ridurre al minimo l'impronta di carbonio a livello industriale

Sintesi

Questo documento esplora la schedulazione sostenibile e il modo in cui l'implementazione di tecniche di pianificazione e schedulazione avanzate (APS, Advanced Planning & Scheduling) riduce significativamente le emissioni di anidride carbonica (CO₂) nelle operazioni di produzione diretta in vari settori. Inoltre, analizza un caso problematico di schedulazione PFS (Permutation Flow Shop) per ridurre al minimo le emissioni totali di CO₂ e ottimizzare le prestazioni di pianificazione. Verrà poi anche mostrato come un algoritmo possa contribuire a ridurre l'impronta di carbonio.

Infine, verrà presentato il software Opcenter™ APS, la soluzione di Siemens Digital Industries Software per la pianificazione e la schedulazione delle operazioni di produzione e si illustrerà come adottarlo con successo per implementare questo algoritmo e ridurre operativamente l'impronta di carbonio dell'impianto di produzione. Opcenter fa parte della piattaforma Siemens Xcelerator di software, hardware e servizi.

Indice

Introduzione	3
Da “greed” a “green”	4
Comprendere la schedulazione sostenibile	4
Impatto delle scelte di schedulazione sull'impronta di carbonio	5
Migliorare la sostenibilità attraverso la collaborazione nella catena di fornitura	5
Le sfide per la riduzione dell'impronta di carbonio e il ruolo delle soluzioni APS	7
Ottimizzare la produzione per la sostenibilità con una soluzione APS	7
Ottimizzare l'uso e la produzione di energia con decisioni basate sui dati	8
Utilizzare algoritmi multi-pass NEH per ridurre l'impronta di carbonio	9
Un'applicazione per la produzione di parti in officina	10
Avvalersi di Opcenter APS come soluzione	12
Conclusione	13

Introduzione

Nell'attuale panorama globale, la sostenibilità è fondamentale. L'escalation degli effetti del cambiamento climatico ha sottolineato l'urgente necessità per le aziende di adottare pratiche rispettose dell'ambiente.

Negli ultimi anni, la consapevolezza riguardo al riscaldamento globale e al cambiamento climatico è aumentata, sottolineando l'importanza di ridurre le emissioni di CO₂ in vari settori. Tra questi, quello industriale è uno dei principali responsabili del consumo globale di energia e di emissioni di anidride carbonica e, di conseguenza, le imprese manifatturiere devono affrontare una crescente pressione per adottare pratiche sostenibili e ridurre la loro impronta.

In risposta, aziende e governi hanno lanciato numerose iniziative per definire e promuovere le migliori pratiche per ridurre le emissioni e raggiungere gli obiettivi di zero emissioni nette. Ciò include iniziative volte ad analizzare le emissioni di CO₂ delle industrie manifatturiere e a creare le infrastrutture e le piattaforme necessarie per renderlo possibile, ad esempio l'iniziativa del World Economic Forum, "Ridurre l'impronta di carbonio dell'industria manifatturiera attraverso la condivisione dei dati", a cui Siemens contribuisce attivamente.¹

Un'altra iniziativa interessante è il Carbon Footprint Catalog, ovvero un documento basato su un'indagine condotta da vari autori con 145 aziende appartenenti a 30 gruppi industriali e 28 paesi e che coinvolge la Columbia University e il Carbon Disclosure Project (CDP). Il risultato dell'indagine è che l'impronta di carbonio delle operazioni dirette, senza considerare le emissioni a monte e a valle, può raggiungere addirittura il 30% in alcuni settori.²

Diversi autori propongono le soluzioni APS nelle operazioni di produzione come un modo efficace per migliorare l'efficienza produttiva, ridurre il consumo di energia e limitare le emissioni di CO₂.

Integrando queste soluzioni nelle proprie operazioni, le imprese manifatturiere possono migliorare l'efficienza operativa e fare passi significativi verso la sostenibilità.





Da “greed” a “green”

In precedenza, quando la riduzione dei costi era la preoccupazione principale per le aziende, il termine “greed scheduling” era utilizzato per indicare un approccio di pianificazione e schedulazione volto a ridurre al minimo i costi. Tuttavia, al giorno d'oggi, è la schedulazione sostenibile a indicare un nuovo approccio per l'integrazione delle considerazioni relative alla sostenibilità nella schedulazione della produzione.

La sostenibilità non è più un'opzione, ma una necessità nel panorama globale odierno. Le aziende, in particolare del settore industriale, devono adottare misure proattive per ridurre le proprie emissioni di carbonio e mettere in atto pratiche rispettose dell'ambiente. Le soluzioni APS possono essere determinanti in questo senso, aiutando le aziende a ridurre la loro impronta di carbonio e contribuire a un futuro sostenibile.

Comprendere la schedulazione sostenibile

La schedulazione sostenibile rappresenta un cambiamento di paradigma nelle metodologie tradizionali di pianificazione e schedulazione, in quanto racchiude la fusione dei principi di sostenibilità con gli imperativi operativi. Fondamentalmente, la schedulazione sostenibile incarna un approccio olistico all'ottimizzazione delle risorse, perseguendo efficienza e prestazioni pur mantenendo la necessità di ridurre l'energia e l'impronta di carbonio. È fondamentale comprendere che il consumo di energia nella produzione si traduce direttamente in emissioni di CO₂.

Al centro di questo concetto c'è il riconoscimento che la gestione ambientale non deve essere in contrasto con la redditività economica, ma, piuttosto, le aziende possono integrarlo nei framework operativi esistenti per produrre vantaggi che si rafforzano a vicenda. Ottimizzando l'allocazione delle risorse, i piani di produzione e la logistica attraverso la lente della sostenibilità, le aziende possono raggiungere un perfetto equilibrio tra misure di risparmio sui costi e conservazione dell'ambiente. Ciò comporta una comprensione più articolata dell'interconnessione tra le decisioni operative e le loro ripercussioni ambientali, in cui ogni scelta di schedulazione diventa un'opportunità per ridurre il consumo di energia e le emissioni di CO₂.

In termini pratici, la schedulazione sostenibile comporta la rivalutazione delle metriche tradizionali di efficienza operativa per includere gli indicatori di prestazione ambientale. Piuttosto che concentrarsi esclusivamente sull'aumento della produttività o sulla riduzione al minimo dei tempi di inattività, gli algoritmi di schedulazione, secondo il paradigma della schedulazione sostenibile, danno priorità ai processi di produzione efficienti dal punto di vista energetico e agli obiettivi di riduzione delle emissioni. Ciò richiede l'integrazione dell'analisi dei dati in tempo reale e della modellazione predittiva per anticipare le attività ad alta intensità energetica e ottimizzarne, di conseguenza, la schedulazione. Inoltre, la schedulazione sostenibile sottolinea l'importanza di sincronizzare i piani di produzione con la disponibilità di energia rinnovabile, sfruttando i periodi di picco

della produzione rinnovabile per alimentare le operazioni di produzione e mitigando la dipendenza da fonti energetiche ad alta intensità di carbonio.

Impatto delle scelte di schedulazione sull'impronta di carbonio

L'ottimizzazione dei piani di produzione influenza direttamente il consumo di energia e, di conseguenza, l'impronta di carbonio. Alcuni esempi includono:

- Ottimizzazione delle sequenze di produzione: l'organizzazione dei lavori, volta a ridurre al minimo la commutazione della macchina e le distanze di viaggio, riduce l'energia necessaria al funzionamento dell'attrezzatura
- Riduzione al minimo dei tempi di inattività: la diminuzione dei periodi in cui le macchine non lavorano attivamente riduce la domanda complessiva di energia
- Raggruppamento di lavori simili: il raggruppamento dei lavori che richiedono le stesse risorse ottimizza il consumo di energia rispetto a una frequente riconfigurazione della macchina

Implementando queste pratiche di schedulazione sostenibile, le aziende possono ridurre significativamente il loro impatto ambientale.

Migliorare la sostenibilità attraverso la collaborazione nella catena di fornitura

La schedulazione sostenibile si estende oltre i confini dei singoli impianti di produzione per comprendere il più ampio ecosistema della catena di fornitura. Ottimizzando i percorsi di trasporto, le pratiche di gestione delle scorte e le relazioni con i fornitori, le aziende possono ridurre al minimo l'impronta di carbonio associata all'approvvigionamento delle materie prime e alla distribuzione dei prodotti finiti. Questo approccio olistico richiede la collaborazione oltre i confini aziendali, promuovendo partnership con fornitori e provider di servizi logistici impegnati in pratiche sostenibili. Utilizzando meccanismi trasparenti di comunicazione e condivisione dei dati, gli stakeholder possono identificare collettivamente le opportunità di riduzione delle emissioni lungo tutta la catena di fornitura, amplificando l'impatto delle iniziative di schedulazione sostenibile.

Ad esempio, i piani di produzione sincronizzati con le consegne dei fornitori possono ridurre al minimo le distanze di trasporto e il consumo di carburante. Oppure l'ottimizzazione dei livelli delle scorte con previsioni e pianificazione collaborative riduce le emissioni di trasporto e stoccaggio non necessarie. La collaborazione con fornitori impegnati in



pratiche sostenibili crea un effetto a catena di scelte ecologiche lungo l'intera catena del valore. Sfruttando una più ampia schedulazione sostenibile, si sblocca un potenziale significativo per ridurre le emissioni di CO₂ e promuovere un futuro sostenibile per la produzione, ma non solo.

Fondamentale per il successo delle iniziative di schedulazione sostenibile è l'integrazione di soluzioni software APS dotate di funzionalità dedicate all'ottimizzazione ambientale. Queste piattaforme software sfruttano algoritmi sofisticati e capacità di simulazione per modellare vari scenari di pianificazione e identificare la linea d'azione più sostenibile dal punto di vista ambientale. Simulando l'impatto di vari piani di produzione relativi al consumo di energia e alle emissioni di CO₂, le aziende possono prendere decisioni informate, che raggiungono un equilibrio ottimale tra efficienza operativa e conservazione ambientale. Inoltre, queste soluzioni software facilitano il miglioramento continuo con l'ottimizzazione iterativa, consentendo alle aziende di adattare le proprie strategie di pianificazione in risposta alle mutevoli dinamiche del mercato e ai requisiti normativi, includendo quanto segue:

- Pianificazione, previsione e rifornimento collaborativi (CPFR): implementa il CPFR con i fornitori per migliorare l'accuratezza della previsione della domanda. Ciò consente una pianificazione della produzione più efficiente, riducendo la necessità di scorte e trasporti eccessivi.
- Schedulazione multilivello: estendi la schedulazione oltre le operazioni interne per considerare fornitori e distributori. Consolidando le spedizioni e utilizzando i backhaul, le aziende possono ridurre significativamente le emissioni dei trasporti.

- Appalti verdi: integra le considerazioni ambientali nella selezione dei fornitori. Collabora con fornitori che danno priorità all'efficienza energetica e utilizzano materiali sostenibili.
- Gestione delle scorte just-in-time (JIT): riduci al minimo le scorte di materie prime e prodotti finiti. Ciò riduce i requisiti di spazio di stoccaggio e il consumo di energia per magazzinaggio e refrigerazione
- Packaging sostenibile: progetta e implementa soluzioni di imballaggio ecologiche che utilizzano materiali riciclati e riducono al minimo gli sprechi.
- Gestione dei prodotti a fine vita (EoL): integra le strategie per il ritiro e il riciclo dei prodotti nella pianificazione estesa. Progettando prodotti per lo smontaggio e la rigenerazione, le aziende possono creare un sistema a circuito chiuso che riduce al minimo gli sprechi e l'impatto ambientale.

Nel complesso, la schedulazione sostenibile rappresenta un cambiamento di paradigma nel modo in cui le aziende affrontano la pianificazione e la schedulazione della produzione, transcendendo le tradizionali metriche di efficienza per dare priorità alla sostenibilità ambientale.

Integrando i principi di sostenibilità in ogni aspetto del processo di schedulazione, le aziende possono:

- Ottenere un perfetto equilibrio tra misure di risparmio sui costi e riduzione dell'impronta di carbonio.
- Sbloccare nuove opportunità per l'eccellenza operativa.
- Contribuire allo sforzo globale per combattere il cambiamento climatico.



Le sfide per la riduzione dell'impronta di carbonio e il ruolo delle soluzioni APS

Sfruttando l'analisi predittiva e gli algoritmi di ottimizzazione, l'utilizzo delle soluzioni APS consente alle aziende di:

- Ottimizzare i piani di produzione
- Snellire la gestione delle scorte
- Ridurre al minimo le emissioni legate al trasporto

Sfruttando un'accurata previsione della domanda e l'analisi dei dati in tempo reale, i sistemi APS consentono alle aziende di allineare i livelli di produzione con la domanda del mercato, riducendo la sovrapproduzione e le emissioni di carbonio associate. Inoltre, integrando le metriche di sostenibilità nei processi decisionali, il software APS permette di ottenere informazioni utili per migliorare l'efficienza delle risorse e ridurre al minimo l'impatto ambientale lungo la catena di fornitura.

Ottimizzare la produzione per la sostenibilità con una soluzione APS

Un aspetto chiave in cui le soluzioni APS eccellono è la semplificazione dell'adozione di principi di produzione snella, le cui priorità sono la riduzione degli sprechi e l'efficienza operativa. Identificando le inefficienze e i colli di bottiglia all'interno dei processi di produzione, il software APS consente alle aziende di ottimizzare i flussi di lavoro, ridurre al minimo il consumo di energia e diminuire le emissioni di CO₂. Inoltre, ottimizzando i piani di produzione per ridurre al minimo i tempi di inattività e la capacità inattiva, le soluzioni APS contribuiscono a un uso più sostenibile delle risorse, riducendo così l'impronta di carbonio associata alle operazioni produttive.

Il software APS svolge anche un ruolo cruciale nel migliorare la visibilità e la resilienza della catena di fornitura, fondamentali per ridurre l'impronta di carbonio. Fornendo insight in tempo reale sui livelli di scorte, sulle capacità produttive e sulla logistica dei trasporti, le soluzioni APS consentono infatti

alle aziende di prendere decisioni informate che ottimizzano l'uso delle risorse e riducono al minimo le emissioni di anidride carbonica lungo tutta la catena di approvvigionamento. Inoltre, facilitando la collaborazione e la comunicazione tra gli stakeholder, il software APS migliora l'agilità della catena di fornitura, permettendo così alle aziende di rispondere rapidamente alle mutevoli condizioni del mercato, riducendo al minimo l'impatto ambientale.

In definitiva, queste soluzioni sfruttano l'analisi dei dati, gli algoritmi di ottimizzazione e la visibilità in tempo reale per creare piani di produzione e operazioni della catena di fornitura più sostenibili. Considerando i fattori ambientali insieme ai vincoli di pianificazione tradizionali, queste soluzioni consentono alle aziende di prendere decisioni informate che riducono al minimo le emissioni di CO₂. La schedulazione della produzione svolge un ruolo fondamentale nel plasmare l'impronta di carbonio delle operazioni di produzione. Ottimizzando la sequenza e la tempistica delle attività produttive, gli algoritmi di pianificazione possono ridurre al minimo il consumo di energia, i tempi di inattività e le distanze di trasporto, riducendo le emissioni di carbonio in tutto il processo di produzione.

Ottimizzare l'uso e la produzione di energia con decisioni basate sui dati

Un altro vantaggio significativo dell'utilizzo delle soluzioni APS risiede nella loro capacità di facilitare l'adozione di fonti di energia rinnovabile e pratiche di produzione sostenibili. Integrando le previsioni di generazione di energia rinnovabile e i dati sul consumo energetico negli algoritmi di pianificazione della produzione, il software APS supporta le aziende nell'ottimizzazione dell'uso dell'energia e nella riduzione della dipendenza dai combustibili fossili. Grazie poi all'analisi degli scenari e delle simulazioni what-if, le piattaforme APS consentono alle aziende di valutare gli impatti ambientali delle varie strategie di produzione e di identificare le opportunità per l'adozione di tecnologie e processi più puliti.

Sebbene siano molte le sfide per ridurre l'impronta di carbonio all'interno delle operazioni di produzione e della catena di fornitura, le soluzioni software APS offrono un mezzo potente per superare questi ostacoli e guidare progressi significativi verso la sostenibilità. Fornendo alle aziende gli strumenti e gli insight di cui hanno bisogno per ottimizzare i processi di produzione, ridurre al minimo gli sprechi e migliorare la visibilità della catena di fornitura, le soluzioni APS permettono loro di ridurre significativamente le emissioni di CO₂, migliorando al contempo l'efficienza operativa e la competitività. Poiché la necessità di pratiche aziendali sostenibili continua a crescere, il ruolo del software APS nel facilitare la riduzione dell'impronta di carbonio diventerà sempre più indispensabile per plasmare un futuro più ecologico e resiliente per le aziende di tutto il mondo.

L'adozione di pratiche di schedulazione sostenibile, utilizzando le soluzioni software APS, offre molti vantaggi che vanno ben oltre le considerazioni ambientali. Sebbene la riduzione dell'impronta di carbonio sia senza dubbio un aspetto critico, i vantaggi della schedulazione sostenibile comprendono anche significativi risparmi sui costi, miglioramenti dell'efficienza operativa e una maggiore reputazione del brand. Abbracciare la sostenibilità nella pianificazione delle operazioni consente alle aziende di ottimizzare l'uso delle risorse, ridurre al minimo gli sprechi e diminuire i costi operativi. Allineando i piani di produzione con la disponibilità di energia rinnovabile e le ore non di punta, le aziende possono sfruttare tariffe elettriche più basse, riducendo le spese energetiche e migliorando la redditività. Inoltre, la schedulazione sostenibile consente loro di agevolare le operazioni logistiche e di trasporto, con conseguente riduzione del consumo di carburante e dei costi associati. Oltre ai vantaggi finanziari, la schedulazione sostenibile favorisce l'efficienza operativa ottimizzando i flussi di lavoro di produzione, riducendo la capacità inattiva e i tempi di inattività. Il software APS sfrutta l'analisi predittiva e gli algoritmi di ottimizzazione, permettendo così alle aziende di prendere decisioni basate sui dati che massimizzano la produttività riducendo al minimo l'impatto ambientale.

Inoltre, migliorando la visibilità e la resilienza della catena di fornitura, la schedulazione sostenibile consente alle aziende di mitigare i rischi associati alle interruzioni e alle fluttuazioni della domanda, migliorando le prestazioni operative complessive. Dare priorità alla sostenibilità nella pianificazione delle operazioni poi migliora la reputazione del brand e favorisce la fedeltà dei clienti. In un mercato sempre più attento all'ambiente, i consumatori sono alla ricerca di aziende che dimostrino un forte impegno verso la gestione ambientale. Mettendo in mostra pratiche e iniziative sostenibili, le aziende possono differenziarsi dalla concorrenza, attirare consumatori attenti all'ambiente e costruire un'immagine positiva del brand. Grazie agli investimenti nella schedulazione sostenibile, le aziende dimostrano una responsabilità sociale d'impresa e si allineano ai valori degli stakeholder, inclusi investitori, dipendenti e comunità. Poiché la consapevolezza pubblica sulle questioni ambientali continua a crescere, le aziende che adottano la schedulazione sostenibile non solo contribuiscono a un pianeta più sano, ma si posizionano anche per il successo a lungo termine in un panorama aziendale in rapida evoluzione.

Utilizzare algoritmi multi-pass NEH per ridurre l'impronta di carbonio

Negli ultimi anni, la ricerca di pratiche di produzione sostenibili ha portato i ricercatori a esplorare approcci innovativi per ridurre le emissioni di carbonio nelle operazioni di produzione. Un'area di interesse è l'ottimizzazione della schedulazione della produzione, in particolare negli ambienti PFS in cui la sequenza delle operazioni svolge un ruolo fondamentale. Il problema della schedulazione flessibile delle spedizioni dei lavori è una variante del problema della schedulazione ottimale dei lavori. Si tratta di un tipo di problema di ottimizzazione della schedulazione per l'allocazione di un insieme di lavori a un insieme di risorse in un orizzonte temporale specifico, che è più difficile rispetto alla schedulazione tradizionale dell'officina.

I metodi di schedulazione tradizionali spesso danno priorità all'efficienza e alla riduzione dei costi, trascurando le considerazioni ambientali. Tuttavia, la nuova ricerca evidenzia il potenziale degli algoritmi di schedulazione avanzati nell'ottimizzazione simultanea dei piani di produzione, riducendo al minimo l'impronta di carbonio.

Tra questi, l'algoritmo Nawaz, Ensore and Ham (NEH) ha attirato l'attenzione per la sua efficacia nell'affrontare il problema della schedulazione PFS tenendo conto degli obiettivi ambientali.

Le caratteristiche principali di un algoritmo NEH risiedono nell'esecuzione di una schedulazione euristica con un approccio multi-pass, il che significa che considera diversi obiettivi di ottimizzazione a ogni passaggio.

La pianificazione euristica comporta l'utilizzo di regole empiriche o algoritmi per prendere rapidamente decisioni di pianificazione, spesso senza considerare tutte le opzioni possibili in modo esaustivo. Questi metodi privilegiano l'efficienza rispetto all'ottimalità, con l'obiettivo di trovare soluzioni soddisfacenti per problemi di pianificazione complessi sfruttando strategie decisionali semplificate basate sull'esperienza o sull'intuizione.

La schedulazione algoritmica NEH inizia con una serie di lavori e i relativi tempi di elaborazione sulle macchine. Inizialmente organizza i lavori diminuendo il tempo di elaborazione totale, quindi inserisce in modo iterativo ogni lavoro nella sequenza per ridurre al minimo il tempo di completamento. Impiega una ricerca locale per migliorare ulteriormente la sequenza, producendo un programma ottimizzato quando non è possibile apportare ulteriori miglioramenti.

I passaggi seguenti riepilogano il processo di esecuzione della schedulazione:

1. Disporre i lavori da una sequenza di input in base ai loro tempi di elaborazione totali, garantendo un ordine decrescente.
2. I primi due lavori nella sequenza concordata vengono programmati in modo da ridurre al minimo il makespan.
3. Di conseguenza, ogni lavoro successivo che non è ancora stato sequenziato viene inserito nella sequenza corrente in una posizione che riduce in modo ottimale il makespan per i lavori pianificati. Questo processo di inserimento viene ripetuto fino a quando tutti i lavori non vengono sequenziati.

Diversi studi^{3,4} hanno sottolineato l'efficacia della variazione dell'algoritmo NEH per migliorare le prestazioni di schedulazione rispetto alla riduzione delle emissioni di carbonio. Assegnando in modo intelligente le priorità alle operazioni di produzione, un algoritmo derivato da NEH può ridurre al minimo i tempi di inattività, ridurre il consumo energetico e ottimizzare l'uso delle risorse, mitigando l'impatto ambientale dei processi di produzione.

Un'applicazione per la produzione di parti in officina

Prendi in considerazione un'officina di produzione di componenti specializzata nella produzione di parti di precisione per motori automobilistici. L'officina gestisce più centri di lavoro e deve programmare una serie di operazioni di lavorazione per evadere gli ordini dei clienti riducendo al minimo il consumo di energia e le emissioni di anidride carbonica. L'obiettivo di questo esempio pratico è quello di ridurre al minimo il work-in-process (WIP), ovvero tutte le scorte entrate nel processo di produzione che non fanno più parte dell'inventario delle materie prime ma non sono ancora un prodotto finito. Inoltre,

il sistema colloca WIP nella categoria degli asset, poiché l'azienda ha speso del denaro per realizzarlo. Tuttavia, poiché il lavoro è incompleto, il WIP ha un valore inferiore. Pertanto, la riduzione del WIP è uno dei passi più importanti per ottenere una produzione snella, che porta a un flusso di lavoro più fluido, una maggiore liquidità, un migliore flusso di cassa, un migliore servizio clienti, minori rischi per l'azienda e un miglioramento complessivo delle prestazioni della produzione di un team.

Utilizzando un algoritmo multi-pass, il responsabile della pianificazione dell'officina inizia inserendo le specifiche del lavoro, inclusi i tempi di elaborazione, le capacità della macchina e i vincoli ambientali.

Supponiamo di avere quattro lavori identici (J_1, J_2, J_3 e J_4), ciascuno con quattro operazioni. La tabella 1 mostra le risorse che possono essere elaborate da ogni operazione.

Dobbiamo allocare queste operazioni a quattro macchine (M_1, M_2, M_3 e M_4). Tutte le operazioni devono essere elaborate in ordine. Per semplicità, possiamo presumere che non ci siano vincoli di tempo, quindi tutti i lavori possono iniziare dal primo evento temporale. Possiamo anche presumere che non ci siano vincoli di tempo di ritardo e che le macchine siano disponibili 24 ore su 24, 7 giorni su 7. Come obiettivo del processo di schedulazione, ci siamo posti la finalità di ridurre al minimo il WIP e le emissioni di CO₂.

TABLE I

Operation	Resource Group	Resources
O_{1j}	G_1	$\{M_1, M_2\}$
O_{2j}	G_2	$\{M_2\}$
O_{3j}	G_3	$\{M_3\}$
O_{4j}	G_2	$\{M_2, M_4\}$

Nella Figura 1 viene illustrato il funzionamento dell'algoritmo. L'utilità di pianificazione determina una coda di lavori, considerando le emissioni totali di CO₂ per ogni lavoro. Se un lavoro include operazioni che possono essere eseguite su più computer, l'utilità di pianificazione prenderà in considerazione la combinazione che produce le emissioni minime di CO₂ per ogni lavoro.

Una volta generata la coda, seleziona il primo lavoro, recupera tutte le sue operazioni e le assegna alle risorse disponibili. Quindi ricalcola la coda di priorità.

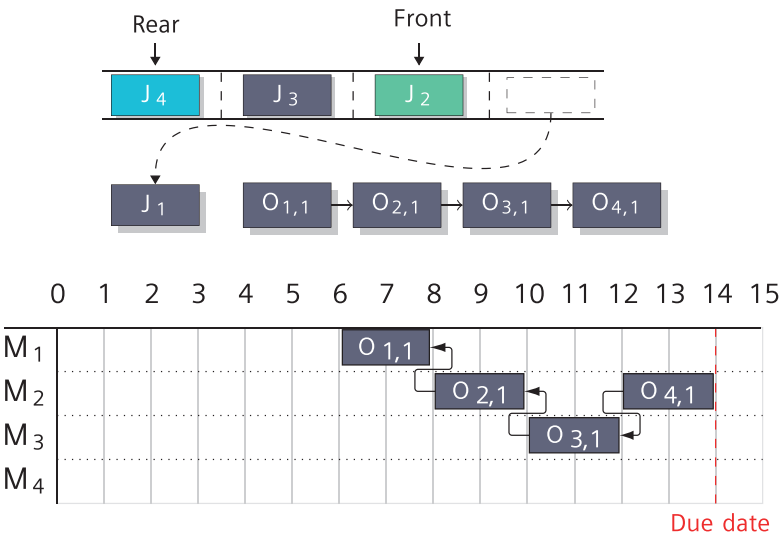


Figura 1.

Nella Figura 2 viene illustrato il modo in cui l'algoritmo procede successivamente al primo lavoro. Una volta pianificate tutte le operazioni del primo lavoro, l'algoritmo di schedulazione seleziona il secondo lavoro dalla parte anteriore della coda di priorità (J₂), recupera tutte le sue operazioni (O_{1,2}, O_{2,2}, O_{3,2} e O_{4,2}) e le assegna alle risorse disponibili.

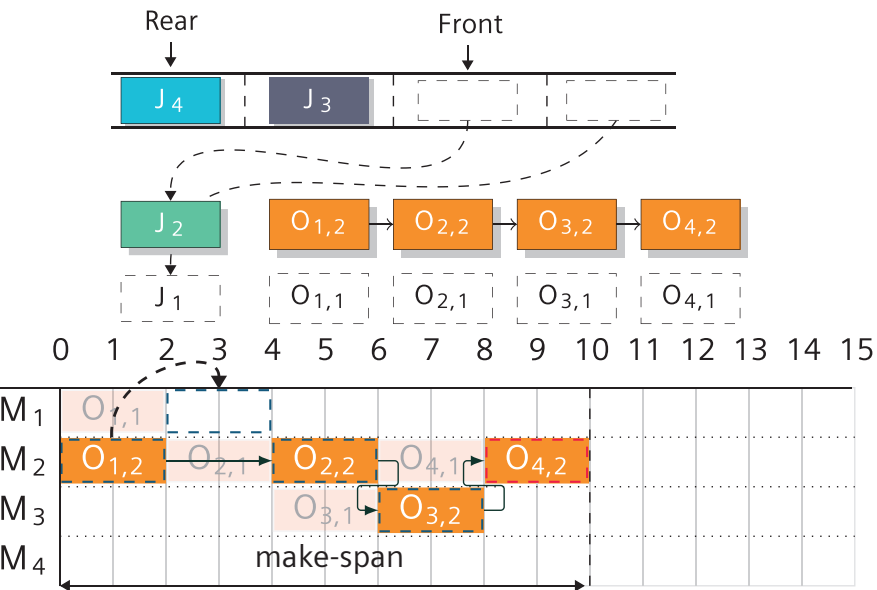


Figura 2.

Una volta allocata l'ultima operazione, $O_{4,2}$, di J_2 , a una delle sue risorse, M_2 , l'algoritmo assegna nuovamente le operazioni ($O_{1,2}$, $O_{2,2}$ e $O_{3,2}$) dall'ora di inizio dell'operazione $O_{4,2}$, mostrata nella figura 3. Come possiamo vedere, l'algoritmo di minimizzazione WIP forward non riprogramma le operazioni $O_{2,2}$ e $O_{3,2}$ poiché non vi è alcun intervallo di tempo tra queste operazioni e l'ultima operazione, $O_{4,2}$. Tuttavia, l'algoritmo sposta la prima operazione, $O_{1,2}$, dalla risorsa M_2 alla risorsa M_1 . Inoltre, ritarda l'ora di inizio di due unità di tempo, quindi la nuova ora di inizio per la prima operazione sarà a $t = 2$. La figura mostra che questo processo riduce al minimo il makespan per J_2 fino a raggiungere il valore ottimale. Utilizzando questa variante dell'algoritmo NEH, l'officina può ridurre al minimo il WIP tenendo d'occhio le emissioni di CO_2 , ottenendo un piano di produzione più sostenibile, allineandosi agli obiettivi ambientali e soddisfacendo le richieste dei clienti.

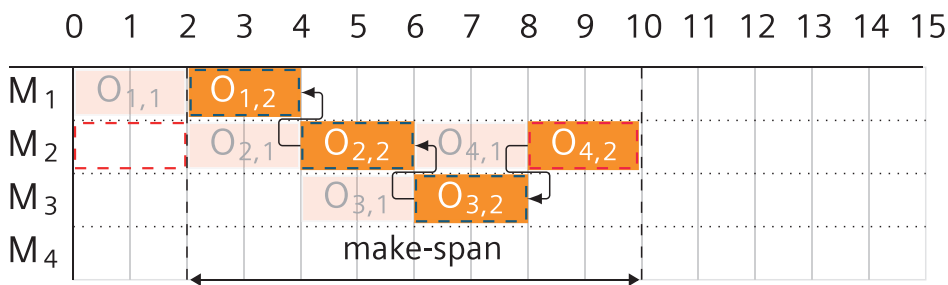


Figura 3.

Avvalersi di Opcenter APS come soluzione

Una soluzione Siemens per la schedulazione della produzione è Opcenter APS.

Opcenter APS è uno strumento potente e flessibile per la pianificazione delle operazioni di produzione tramite vari tipi di approcci di pianificazione, tra cui la schedulazione algoritmica, basata su regole e su eventi. Con questa soluzione, è possibile implementare algoritmi euristici come la variante proposta dell'algoritmo NEH. Inoltre, nel suo modello di schedulazione, include tutti i dati necessari per valutare l'energia e l'impronta di carbonio, insieme a costi, tempi di configurazione e altri vincoli per gli operatori, gli strumenti, il materiale disponibile, ecc.

Implementando un algoritmo NEH utilizzando Opcenter APS, è possibile dare priorità alle operazioni, considerando non solo il tempo di elaborazione, ma anche altri parametri come il costo di produzione per macchina e operazione, il consumo di energia, l'emissione di CO_2 e così via. Ciascuno dei parametri inclusi nei dati del modello di schedulazione può essere combinato utilizzando una speciale regola di ponderazione, che somma ogni parametro utilizzando un valore di peso specifico. Questa regola di ponderazione è utile per mettere a punto l'algoritmo utile all'individuazione del compromesso perfetto tra vari fattori, trovando quindi l'equilibrio tra sostenibilità e redditività.

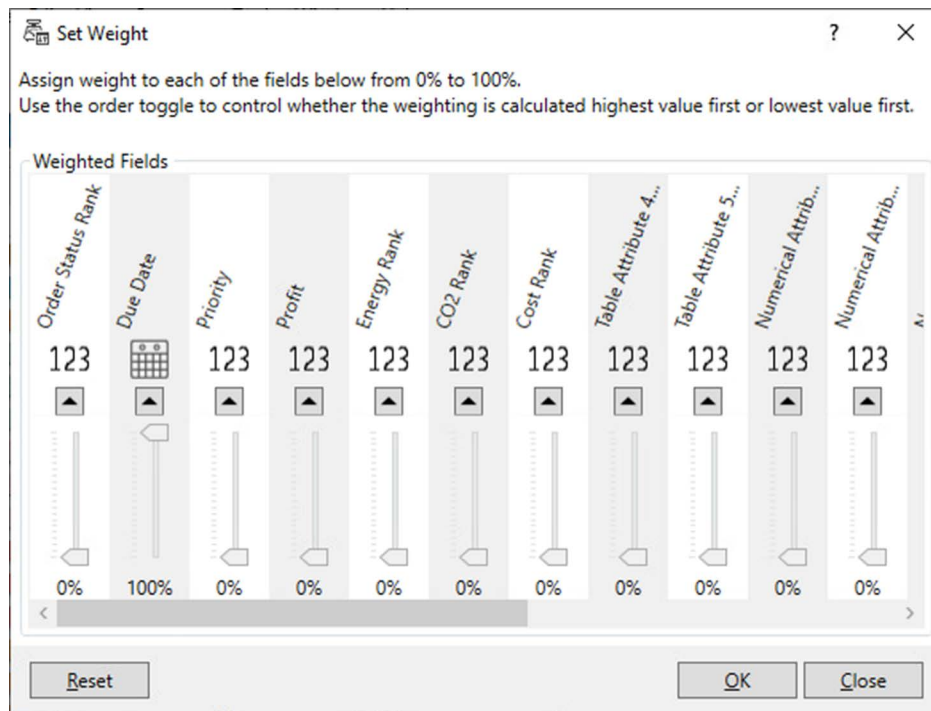


Figura 4.

Conclusione

In un'epoca in cui la coscienza ambientale è fondamentale, l'imperativo per le industrie manifatturiere di ridurre le emissioni di anidride carbonica non è mai stato così chiaro. Come evidenziato nel documento, l'efficienza delle operazioni di produzione ha un impatto significativo sull'impronta globale di carbonio, e richiede soluzioni innovative per ridurre al minimo l'impatto ambientale e ottimizzare i processi produttivi.

Il concetto di schedulazione sostenibile emerge come un approccio trasformativo, che integra perfettamente le considerazioni di sostenibilità nelle strategie di schedulazione della produzione e nella gestione della catena di fornitura. Dando priorità all'efficienza energetica, all'ottimizzazione delle risorse e alla riduzione delle emissioni, la schedulazione sostenibile rappresenta un cambiamento di paradigma verso un panorama manifatturiero più "green".

Molti autori hanno proposto l'approccio euristico, ad esempio la variazione dell'algoritmo NEH, come un modo efficace per percepire più obiettivi oggettivi, tra cui le emissioni di CO₂, per trovare il giusto equilibrio tra sostenibilità e redditività.

Con le funzionalità di Opcenter APS, le aziende possono implementare efficacemente le pratiche di schedulazione sostenibile. Utilizzando algoritmi di ottimizzazione, un potente set di algoritmi configurabili che considera tutti i dati e i vincoli rilevanti provenienti dalle strutture e dagli strumenti di analisi degli scenari, le aziende possono sfruttare Opcenter APS per ridurre al minimo il consumo energetico, diminuire le emissioni e promuovere l'eccellenza operativa.

Inoltre, l'utilizzo di Opcenter APS facilita la collaborazione e il coinvolgimento degli stakeholder, promuovendo una cultura della sostenibilità lungo tutta la catena di fornitura. Fornendo insight utili e facilitando il processo decisionale basato sui dati, l'utilizzo di Opcenter APS consente alle aziende di ottenere risultati tangibili nei loro sforzi di sostenibilità.

In conclusione, Opcenter APS non è solo una soluzione software, ma è un catalizzatore per la trasformazione sostenibile della produzione, la cui adozione permette alle aziende di aprire la strada verso un futuro più verde, promuovendo contemporaneamente l'efficienza operativa e la competitività.

Riferimenti

1. Ridurre l'impronta di carbonio dell'industria manifatturiera attraverso la condivisione dei dati. World Economic Forum (2022) <https://www.weforum.org/impact/carbon-footprint-manufacturing-industry/>
2. Meinrenken, C.J., Chen, D., Esparza, R.A., et al. The Carbon Catalogue, carbon footprints of 866 commercial products from 8 industry sectors and 5 continents. Sci Data 9, 87 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01178-9>
3. De Athayde Prata, B., Nagano, M.S., Martarelli Fróes, N.J., et al. The Seeds of the NEH Algorithm: An Overview Using Bibliometric Analysis.
4. Wan, Q. and Liu, J. (2023) Energy efficiency optimization and carbon emission reduction targets of resource-based cities based on BiLSTM-CNN-GAN model.

Siemens Digital Industries Software

Americhe: 1 800 498 5351

EMEA: 00 800 70002222

Asia-Pacifico: 001 800 03061910

Altri numeri sono disponibili [qui](#).

Siemens Digital Industries Software aiuta le aziende di tutte le dimensioni ad avviare un percorso di trasformazione digitale utilizzando il software, l'hardware e i servizi della piattaforma Siemens Xcelerator. Il software e il digital twin esteso di Siemens consentono alle aziende di ottimizzare i processi di progettazione, ingegnerizzazione e produzione per trasformare le idee di oggi nei prodotti sostenibili di domani. Dai chip ai sistemi, dai prodotti ai processi, in tutti i settori industriali, Siemens permette di creare oggi i prodotti di domani. [Siemens Digital Industries Software](#) – Accelerating transformation.

[siemens.com/software](https://www.siemens.com/software)

© 2024 Siemens. Un elenco di brand Siemens è disponibile [qui](#). Tutti gli altri marchi commerciali, marchi registrati o marchi di servizio appartengono ai rispettivi detentori.

86036-D4-IT 7/24 LOC