



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA GESTIONALE

**GENERAZIONE AUTOMATICA DELLE
MISSIONI DI APPROVVIGIONAMENTO A
BORDO MACCHINA CON OPERA MES
CYBERTEC**

TESI DI LAUREA
IN
SISTEMI DI PRODUZIONE AVANZATI M

Relatore:

Prof. Francesco Gabriele Galizia

Presentata da:

Matteo Sanzani

Correlatrice:

Roberta Capucci

SESSIONE MARZO 2026

Anno Accademico 2024/2025

Indice

1	Introduzione	3
2	Architettura e funzionalità dei sistemi MES	5
2.1	Definizione e ruolo del Manufacturing Execution System	5
2.1.1	Manufacturing Operations Management come estensione dei MES	8
2.2	Struttura dello standard ISA-95 / IEC 62264	9
2.2.1	Classificazione delle attività e struttura dell'impresa secondo ISA-95	11
2.2.2	Il modello a flusso di dati e categorie di informazione	12
3	Cybertec e OperaMES	15
3.1	Cybertec – Gruppo Zucchetti	15
3.2	OperaMES: panoramica e funzionalità	15
3.2.1	Architettura tecnologica e integrazione con i sistemi di produzione	16
3.2.2	I principali servizi applicativi di OperaMES	17
3.2.3	Modello operativo della produzione in Opera MES	18
3.2.4	Lo schedulatore	20
3.2.5	Modulo materiali di OperaMES	24
3.3	Architettura e logiche di integrazione OperaMES e sistemi ERP	26
4	Analisi della gestione materiali nel reparto di montaggio	27
4.1	Modalità dell'analisi	27
4.1.1	Descrizione del processo as-is di approvvigionamento materiali nel reparto montaggi	28
4.1.2	Analisi delle criticità operative e gestionali	31
4.1.3	Proposta di modello to-be per la gestione dei flussi logistici nel reparto montaggio	33

5	Ottimizzazione della logistica interna tramite la generazione dinamica delle missioni di trasporto	36
5.1	Integrazione ERP SMEUP - OperaMES	36
5.1.1	Flusso bidirezionale e perimetro informativo	36
5.2	Soluzione applicativa per la generazione automatica delle missioni produttive	39
5.2.1	Obiettivi e architettura della soluzione	39
5.3	Gestione delle missioni logistiche a supporto del piano di produzione	41
5.3.1	Procedura di reso o trasferimento merce	41
5.3.2	Generazione delle missioni di trasporto a bordo macchina	43
5.3.3	Modifiche implementate in Opera	45
5.4	Criticità e possibili implementazioni	49
5.4.1	Criticità del progetto	49
5.4.2	Possibili sviluppi	50
6	Procedure di generazione delle missioni	52
6.1	Logica applicativa e struttura delle procedure	52
6.1.1	Gestione Pianificati	52
6.1.2	Genera Missioni	53
6.1.3	Elimina Missioni	54
6.1.4	Genera Missioni di Rientro	54
7	Conclusioni e sviluppi futuri	56
A	Listati delle procedure implementate	58
A.1	Listato della procedura di Gestione Pianificati	58
	Glossario	65
	Bibliografia	67

Capitolo 1

Introduzione

Nel contesto competitivo attuale, caratterizzato da una crescente pressione sui costi, da un'elevata personalizzazione del prodotto e dalla necessità di ridurre i tempi di produzione, le imprese manifatturiere sono chiamate a rafforzare l'integrazione tra produzione e logistica interna. In particolare, nei reparti di montaggio, la disponibilità coerente dei materiali rispetto al piano produttivo rappresenta una condizione necessaria per garantire continuità operativa, stabilità dei flussi informativi e rispetto delle tempistiche di consegna. Tuttavia, nelle realtà industriali in cui i sistemi informativi non sono pienamente integrati o in cui la generazione delle missioni logistiche risulta parzialmente manuale, si manifestano frequentemente criticità, quali disallineamenti tra la schedulazione e l'approvvigionamento, sovraccarichi operativi, ridotta tracciabilità e difficoltà nella gestione delle variazioni del piano di produzione.

La presente tesi analizza tali criticità nel reparto di montaggio di un'azienda operante nel settore dei componenti e sistemi idrotermosanitari. L'elaborato prende avvio da una mappatura del processo logistico-produttivo as-is, con l'obiettivo di evidenziare i punti di discontinuità informativa tra pianificazione, generazione delle distinte di prelievo e gestione delle missioni di rifornimento alle linee. L'analisi ha evidenziato inefficienze riconducibili principalmente alla mancanza di sincronizzazione automatica tra il sistema ERP aziendale e il sistema di esecuzione della produzione, nonché alla gestione reattiva delle modifiche al piano produttivo, che richiedeva interventi manuali e comportava il rischio di errori o ritardi nella movimentazione dei materiali.

A partire da tali evidenze, è stato realizzato un progetto di automazione della logistica interna basato sull'implementazione del modulo materiali del sistema OperaMES, sviluppato da Cybertec S.r.l. L'obiettivo era realizzare una piena integrazione funzionale tra la schedulazione della produzione e la generazione delle missioni logistiche di approvvigio-

namento a bordo macchina, sfruttando in modo strutturato i dati contenuti nelle distinte di prelievo fornite dall'ERP aziendale.

In questa tesi viene descritta l'architettura di integrazione tra ERP e MES, approfondendo le modalità di scambio dati, le strutture informative coinvolte e le regole di coerenza necessarie per garantire l'allineamento continuo tra pianificazione e approvvigionamento. Particolare attenzione è stata dedicata alla definizione delle logiche di gestione del ciclo di vita delle missioni logistiche, articolato nelle fasi di generazione, aggiornamento ed eventuale eliminazione. In presenza di variazioni nella pianificazione produttiva, quali modifiche di quantità, ripianificazioni temporali o annullamenti di ordini, il sistema è progettato per reagire in modo dinamico, aggiornando automaticamente le missioni associate o rimuovendo quelle non più necessarie, evitando così la creazione di attività non a valore aggiunto o incoerenti rispetto allo stato reale della produzione.

La proposta to-be non riguarda solo la dimensione tecnica dell'integrazione software, ma considera anche gli aspetti organizzativi e procedurali connessi all'introduzione del nuovo modello operativo. Vengono analizzati gli impatti sui ruoli coinvolti, sulle responsabilità decisionali e sulle modalità di controllo del flusso logistico, evidenziando come l'automazione delle missioni consenta di spostare il focus degli operatori da attività esecutive ripetitive a funzioni di supervisione e gestione delle eccezioni. Il modello consente inoltre di rafforzare la tracciabilità e il monitoraggio delle performance supportando un miglioramento continuo basato sui dati.

Attraverso la definizione di regole di interazione tra pianificazione e logistica e l'implementazione di un flusso informativo integrato, il progetto presentato in questa tesi mira a ridurre i tempi di reazione alle variazioni e a rafforzare l'affidabilità complessiva del reparto di montaggio.

Dal punto di vista implementativo, il progetto ha previsto lo sviluppo di procedure dedicate in linguaggio SQL, finalizzate alla generazione automatica delle missioni d'approvvigionamento. Tali procedure hanno consentito di tradurre le regole decisionali definite in fase di analisi in logiche operative integrate nel database del sistema OperaMES. Attraverso questo progetto sono state introdotte nuove funzionalità applicative, permettendo la generazione, l'aggiornamento e l'eliminazione dinamica delle missioni in coerenza con le variazioni del piano produttivo. L'attività ha quindi contribuito non solo all'integrazione tra ERP e MES, ma anche all'evoluzione funzionale del software Opera MES stesso.

Capitolo 2

Architettura e funzionalità dei sistemi MES

2.1 Definizione e ruolo del Manufacturing Execution System

Il Manufacturing Execution System (MES) fornisce informazioni che consentono di ottimizzare le attività produttive, dall'arrivo dell'ordine fino alla realizzazione del prodotto finito. Il sistema cura l'ottimizzazione della produzione mediante l'utilizzo di dati aggiornati e accurati e gestisce le attività dello stabilimento monitorandole in tempo reale, contribuendo così ad aumentare l'efficienza dell'impianto e dei processi.

Il concetto di MES è emerso a metà degli anni '90 per rispondere all'insufficienza del livello Enterprise Resource Planning (ERP) nella gestione in tempo reale delle operazioni sul piano produttivo. L'ERP è un software gestionale integrato che coordina funzioni aziendali come la pianificazione della produzione, il controllo delle scorte, la contabilità e il marketing nelle imprese manifatturiere. Tuttavia, poiché la raccolta e l'integrazione delle informazioni provenienti dal piano produttivo e da altre funzioni organizzative avviene con cadenza giornaliera, settimanale o mensile, non dispone della velocità e del livello di dettaglio necessari per rispondere immediatamente a ogni singola transazione che avviene a livello produttivo.

Per risolvere questo problema, il MES crea un collegamento tra il piano produttivo e il livello ERP. Il MES genera un piano operativo combinando i piani preliminari di produzione provenienti dall'ERP con informazioni in tempo reale sui processi produttivi, i sistemi di controllo e gli operatori [1].

Nella piramide dell'automazione, il MES rappresenta lo strumento principale di gestione della produzione, fornendo un collegamento bidirezionale tra il livello di pianificazione aziendale e il livello di controllo/automazione del piano produttivo. Riceve dati sullo stato del piano produttivo tramite sensori e attuatori presenti nei sistemi di supervisione e acquisizione dati (SCADA), DCS (Distributed Control Systems) , PLC (Programmable Logic Controllers) e altri dispositivi intelligenti. Queste informazioni vengono poi sintetizzate al livello richiesto dall'ERP per il processo decisionale, poiché i dati generati dai sistemi SCADA contengono informazioni molto granulari e specifiche, mentre l'ERP richiede informazioni sintetiche per prendere decisioni operative.

Il MES opera su base giornaliera e in tempo reale, traducendo decisioni mensili o giornaliere prese a livello ERP in programmi esecutivi necessari a mantenere il controllo del piano produttivo. Funziona come sistema di monitoraggio in tempo reale, permettendo il controllo di molteplici elementi del processo produttivo, come input, personale, macchinari e servizi di supporto. Può operare in diverse aree funzionali, tra cui: gestione delle definizioni di prodotto lungo l'intero ciclo di vita, pianificazione delle risorse, esecuzione e distribuzione degli ordini, analisi della produzione, gestione dei tempi di fermo per l'efficacia complessiva delle apparecchiature, qualità del prodotto e tracciabilità dei materiali. Per soddisfare le esigenze di una varietà di ambienti produttivi la Manufacturing Enterprise Solutions Association (MESA) ha definito le 11 funzioni principali che un MES deve svolgere (fig. 2.1) [2]:

- pianificazione operativa e dettagliata: sequenziamento e temporizzazione delle attività;
- pianificazione basata su capacità finite delle risorse, tenendo conto dei vincoli effettivi di capacità come: tempo macchina disponibile, turni del personale, attrezzaggi e disponibilità materiali;
- allocazione e stato delle risorse, ovvero guidare ciò che persone, macchine, strumenti e materiali devono fare e tracciare ciò che stanno facendo o hanno appena fatto;
- invio dei componenti di produzione, ovvero impartire il comando di invio materiali o ordini a determinate parti dello stabilimento per avviare una lavorazione;
- controllo della documentazione per gestire e distribuire informazioni su prodotti, processi, progetti o ordini, oltre a raccogliere dichiarazioni di certificazione del lavoro svolto;

- tracciabilità e genealogia del prodotto, ovvero monitorare l'avanzamento di unità dei lotti per creare una storia completa del prodotto;
- analisi delle prestazioni, ovvero confrontare i risultati misurati nello stabilimento con obiettivi e metriche fissati dall'azienda, dai clienti o dagli enti regolatori;
- gestione della manodopera, ovvero tracciare e dirigere l'impiego del personale durante un turno in base a qualifiche, schemi di lavoro e necessità aziendali;
- gestione della manutenzione, ovvero pianificare ed eseguire attività appropriate per mantenere le apparecchiature e gli altri asset produttivi dello stabilimento in linea con gli obiettivi;
- gestione dei processi, ovvero dirigere il flusso di lavoro nello stabilimento sulla base delle attività produttive pianificate e reali;
- gestione della qualità, ovvero registrare, tracciare e analizzare le caratteristiche di prodotto e di processo rispetto agli standard ingegneristici;
- raccolta e acquisizione dati, ovvero monitorare, raccogliere e organizzare dati relativi a processi, materiali e operazioni provenienti da persone, macchine o sistemi di controllo [3].

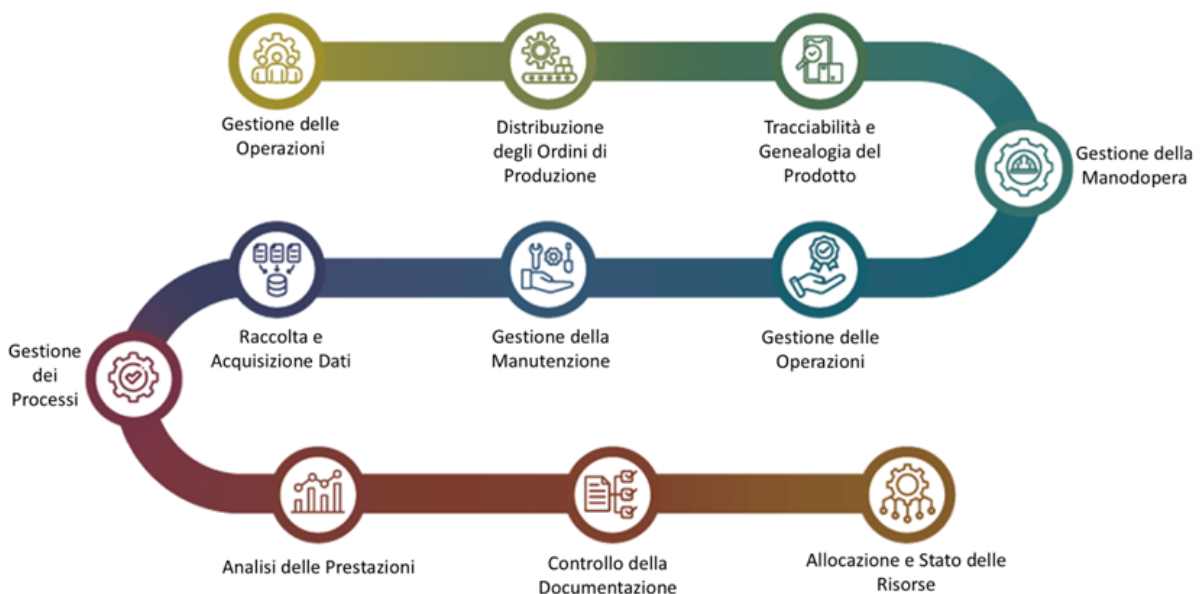


Figura 2.1: Il modello rappresenta le 11 funzioni operative del MES. Immagine adattata [2].

2.1.1 Manufacturing Operations Management come estensione dei MES

Nel contesto dello stato dell'arte dei MES, il concetto di Manufacturing Operations Management (MOM) può essere interpretato come una naturale evoluzione e generalizzazione del MES tradizionale. Se i MES sono storicamente focalizzati sull'esecuzione, sul monitoraggio e sul controllo delle operazioni produttive a livello di linea o di reparto, i MOM estendono tali funzionalità a un perimetro più ampio, con l'obiettivo di coprire in modo integrato l'intero processo produttivo di un'area o di uno stabilimento.

A partire da questa evoluzione, i MOM non sostituiscono il MES, ma ne ampliano il ruolo e la portata funzionale, integrando in un'unica piattaforma applicativa funzioni che tradizionalmente erano gestite da sistemi separati o debolmente interconnessi, ad esempio software per la manutenzione, logistica e il controllo qualità. Le principali funzioni di un MOM costituiscono la base fondamentale su cui i produttori possono costruire la struttura applicativa dell'Industria 4.0.

I MOM si collocano al centro della supply chain, garantendo un allineamento continuo e bidirezionale tra pianificazione, produzione e logistica. Essi assumono un ruolo strategico anche all'interno del ciclo di vita del prodotto, abilitando la creazione di un flusso informativo end-to-end – il cosiddetto digital thread – che assicura coerenza, tracciabilità e aggiornamento costante dei dati lungo tutte le fasi, dalla produzione fino ai processi a valle, inclusi distribuzione, assistenza e feedback post-vendita.

Un ulteriore contributo fondamentale dei MOM riguarda il coordinamento dell'integrazione verticale e orizzontale tipica dei paradigmi di Industria 4.0. Sul piano verticale, i MOM rappresentano l'anello di congiunzione tra i sistemi di pianificazione aziendale e i sistemi di esecuzione e controllo della produzione, garantendone la loro sincronizzazione. Sul piano orizzontale, facilitano la cooperazione e la condivisione delle informazioni tra reparti, linee produttive e siti industriali distribuiti, favorendo una gestione integrata e trasparente dell'intero network produttivo.

Dal punto di vista operativo, i MOM supportano la generazione di Final Capacity Schedules in modalità real-time, basandosi sulla capacità effettiva delle risorse e sullo stato aggiornato delle operazioni.

I MOM acquisiscono e archiviano grandi volumi di dati provenienti dai processi produttivi. Queste informazioni costituiscono la base per la definizione e il monitoraggio dei Key Performance Indicators (KPI) operativi per l'implementazione di analisi statistiche e modelli avanzati orientati al miglioramento continuo delle performance industriali.

Infine, i MOM abilitano la gestione di strategie di manutenzione predittiva e condition-based, contribuendo alla riduzione dei tempi di fermo impianto e all'ottimizzazione dell'impiego delle risorse produttive. Le informazioni aggregate e strutturate dal sistema vengono messe a disposizione del customer service e delle altre funzioni aziendali, rafforzando l'integrazione tra area produttiva e processi a valle e favorendo una visione realmente end-to-end dell'ecosistema industriale [4].

2.2 Struttura dello standard ISA-95 / IEC 62264

Lo standard industriale internazionale ISA-95, noto a livello globale come IEC 62264, definisce lo standard per lo sviluppo di un'interfaccia automatizzata tra sistemi aziendali e i sistemi di controllo, descrivendo i modelli di riferimento per lo scambio di informazioni tra i due [5]. L'obiettivo dello standard ISA-95 è ridurre il rischio, i costi e gli errori associati all'implementazione dei sistemi di gestione della produzione e stabilire una terminologia coerente e universale per le comunicazioni fornitore/produttore.

Lo standard si basa su una strutturazione gerarchica dei sistemi industriali comunemente rappresentata attraverso la cosiddetta piramide dell'automazione. Tale modello concettuale descrive l'organizzazione dei sistemi informativi e di controllo su più livelli funzionali: dai processi fisici e sistemi di controllo (livelli 1–4), alla gestione operativa della produzione (livello 4), fino ai sistemi di pianificazione e gestione aziendale (livello 5), come mostrato nella figura 2.2. Lo standard ISA-95 formalizza questa articolazione definendo in modo rigoroso le funzioni attribuite a ciascun livello e le interfacce informative tra di essi, con particolare attenzione allo scambio di dati tra livello gestionale (ERP) e livello operativo (MOM). Per poter costruire un'interfaccia efficace tra questi due domini, lo standard introduce criteri espliciti di classificazione applicati ai livelli della piramide. Il dominio manifatturiero coincide con i livelli 1, 2, 3 e 4 ovvero con tutto ciò che riguarda i processi fisici di produzione, il loro controllo diretto e la gestione operativa dello stabilimento. Il livello 5 appartiene al dominio aziendale e comprende le funzioni di pianificazione strategica e gestione del business, tipicamente affidate a sistemi ERP. Lo standard ISA-95 stabilisce che un'attività appartenente al dominio manifatturiero, deve essere modellata secondo i livelli 1–4, se riguarda direttamente personale, equipaggiamento o materiali e soddisfa almeno una delle seguenti condizioni: è critica per la sicurezza dell'impianto, per la sua affidabilità operativa, per la sua efficienza, per la qualità del prodotto oppure per il mantenimento della conformità normativa. Qualsiasi attività che non soddisfi nessuno di questi requisiti viene ricondotta al livello 5. Questa classificazione

ne è fondamentale perché evita ambiguità nell'implementazione dei sistemi MES: sapere con precisione dove termina la responsabilità del sistema gestionale e dove inizia quella del sistema produttivo è la condizione necessaria per una loro integrazione corretta ed efficiente.

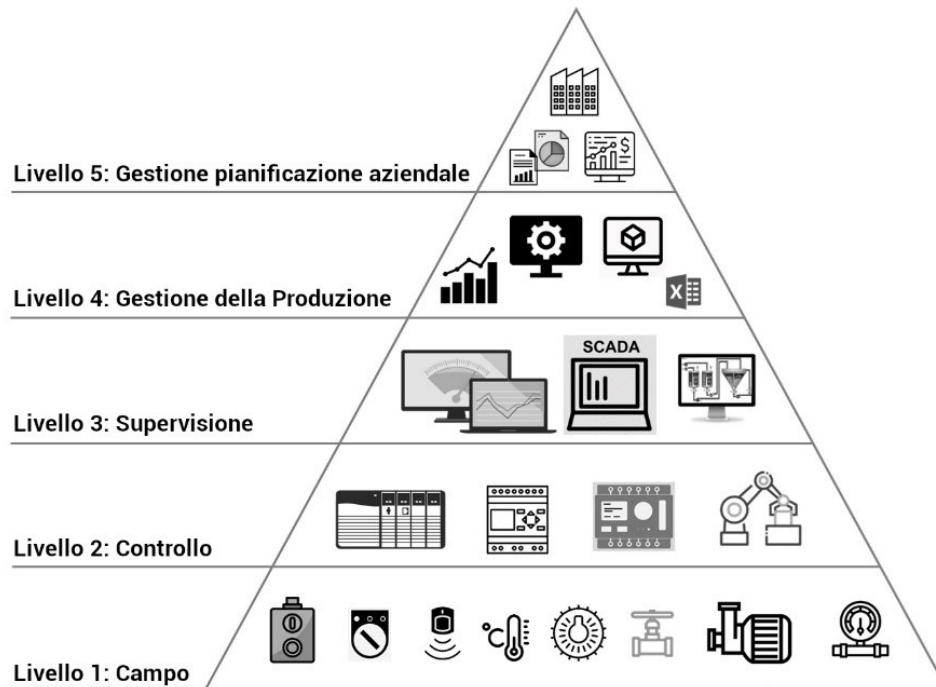


Figura 2.2: Rappresentazione della piramide dell'automazione, che illustra i livelli gerarchici dei sistemi industriali dal campo (sensori e attuatori) alla pianificazione aziendale [6].

Lo standard si compone di cinque parti [7]:

- **Models and Terminology:** questa parte definisce un modello astratto dell'azienda, comprese le funzioni di controllo della produzione, le funzioni aziendali e il relativo scambio di informazioni. In questa parte vengono date anche le indicazioni relative ai modelli e la terminologia standard per descrivere le interfacce tra i sistemi aziendali di un'impresa e le sue operazioni di produzione e sistemi di controllo.
- **Object Models and Attributes for Manufacturing Operations Management:** questa parte definisce gli oggetti per la gestione delle operazioni di produzione, ad esempio:
 - Materiali, semilavorati, lotti
 - Impianti, linee produttive e unità di lavoro
 - Risorse umane e competenze

- **Models of Manufacturing Operations Management:** che fornisce i modelli delle attività operative dei MOM, suddivise nelle quattro aree principali:
 - Production Operations
 - Quality Operations
 - Maintenance Operations
 - Inventory Operations

- **Objects and Attributes for Equipment Control and Data Acquisition (ECDA):** questa sezione definisce gli oggetti e gli attributi per il controllo delle attrezzature e la raccolta dati dai livelli operativi 1 e 2 della piramide dell'automazione. Include i modelli necessari alla supervisione e al controllo delle apparecchiature, le strutture informative per l'acquisizione dei dati di processo e il quadro concettuale per l'integrazione tra MES e sistemi di automazione.

- **Business-to-Manufacturing Transactions:** questa sezione definisce le transazioni informative tra sistemi aziendali (ERP) e sistemi di produzione (MES), specificando i modelli di messaggi, i flussi di feedback e le regole di scambio dati necessari a coordinare pianificazione ed esecuzione.

2.2.1 Classificazione delle attività e struttura dell'impresa secondo ISA-95

Alla gerarchia funzionale appena descritta, lo standard ISA-95 affianca una gerarchia dell'equipaggiamento, che descrive la struttura fisica e organizzativa dell'impresa, come mostrato in figura 2.3. Lo scopo di questa seconda gerarchia è fornire un modello di riferimento comune per rappresentare come un'azienda è organizzata fisicamente, in modo che i sistemi informativi adottino lo stesso linguaggio indipendentemente dal settore industriale o dalla tecnologia implementata. Al vertice si trova l'impresa, la quale stabilisce quali prodotti saranno realizzati, in quali siti e secondo quali criteri generali. L'impresa è composta da uno o più siti, intesi come unità geografiche e produttive distinte, ognuna con una propria capacità e responsabilità locale. All'interno di ciascun sito si trovano le aree, raggruppamenti funzionali in cui si svolgono le attività operative vere e proprie, tipicamente quelle del livello 3 della piramide. Ogni area è a sua volta composta da elementi produttivi più specifici, che lo standard ISA-95 classifica in quattro tipologie in base alla natura del processo produttivo: le celle di processo, per le produzioni di tipo batch ovvero

a lotti; le unità produttive, per i processi in continuo; le linee produttive, per le produzioni discrete; e le zone di magazzino, deputate alla ricezione, conservazione, movimentazione e spedizione dei materiali. Questa distinzione non è puramente descrittiva: serve a modellare correttamente le capacità produttive di ciascun elemento, dato che la capacità produttiva di una cella batch si misura e si pianifica in modo radicalmente diverso rispetto a quella di una linea discreta o di un processo continuo. Conoscere il tipo di elemento consente quindi al sistema MES di pianificare, schedare e monitorare le attività in modo aderente alla realtà fisica dell'impianto. Quando la distinzione tra tipologie produttive non è rilevante ai fini della modellizzazione, lo standard adotta la terminologia generica di centro di lavoro per indicare qualsiasi sotto-elemento di un'area e di unità di lavoro per indicare qualsiasi sotto-elemento di un centro di lavoro. Ciascun elemento, infine, è tipicamente identificato dall'attività che svolge o dal prodotto che genera, come "unità di mescolamento" o "linea di imbottigliamento" e possiede una capacità produttiva definita che costituisce un dato di input essenziale sia per le funzioni di pianificazione operativa del livello 4 sia per le funzioni gestionali del livello 5 [7].

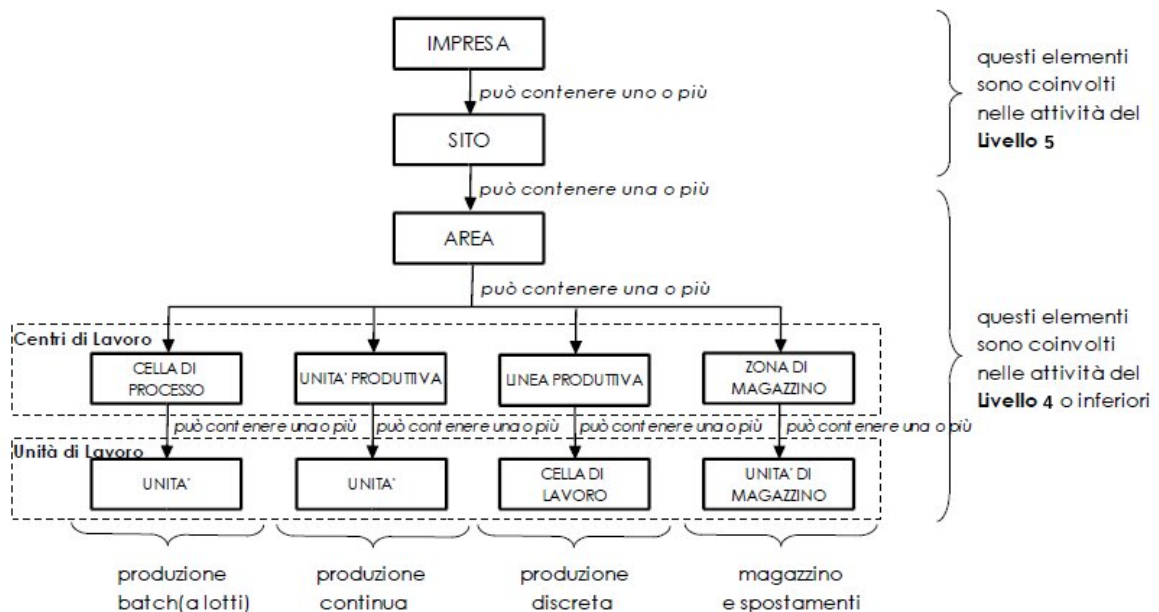


Figura 2.3: Lo schema mostra la struttura dell'impresa in livelli decrescenti e i quattro sotto alberi corrispondono ai principali contesti operativi: produzione batch (a lotti), produzione continua, produzione discreta e magazzino e spostamenti [7].

2.2.2 Il modello a flusso di dati e categorie di informazione

Una volta definito come è strutturata l'impresa e quali attività appartengono al dominio manifatturiero, lo standard ISA-95 definisce come avviene lo scambio di dati tra il livello

operativo e il livello gestionale. Lo standard introduce il modello a flusso di dati, descritto attraverso la notazione Yourdon-Demarco [8]. In questa rappresentazione le funzioni aziendali sono insiemi di task con un obiettivo comune: le entità esterne come componenti che inviano o ricevono dati e i flussi di dati come insiemi di informazioni trasferite tra questi elementi. La linea di confine tracciata nel modello separa il dominio manifatturiero dal dominio aziendale: ai fini dello standard interessano solo i flussi che attraversano questa interfaccia o che si sviluppano interamente al suo interno, non quelli che intercorrono esclusivamente tra funzioni esterne. L'analisi di questi flussi porta lo standard ISA-95 a identificare tre macrocategorie di informazioni che devono necessariamente essere condivise tra il sistema di controllo manifatturiero e il sistema di business. La prima categoria è quella delle informazioni sulla capacità produttiva, che descrivono ciò che è disponibile: lo stato attuale del personale, dei materiali e dell'equipaggiamento, la disponibilità futura delle risorse e le informazioni sulle manutenzioni preventive pianificate. La seconda categoria è quella delle informazioni sulla definizione di prodotto, che descrivono come produrre: le regole di produzione, la lista dei materiali necessari e la lista delle risorse richieste. La terza categoria è quella delle informazioni produttive, che descrivono cosa fare e i risultati ottenuti: la pianificazione di produzione, lo storico delle lavorazioni e lo stato dell'inventario dei materiali (fig. 2.4) [7].

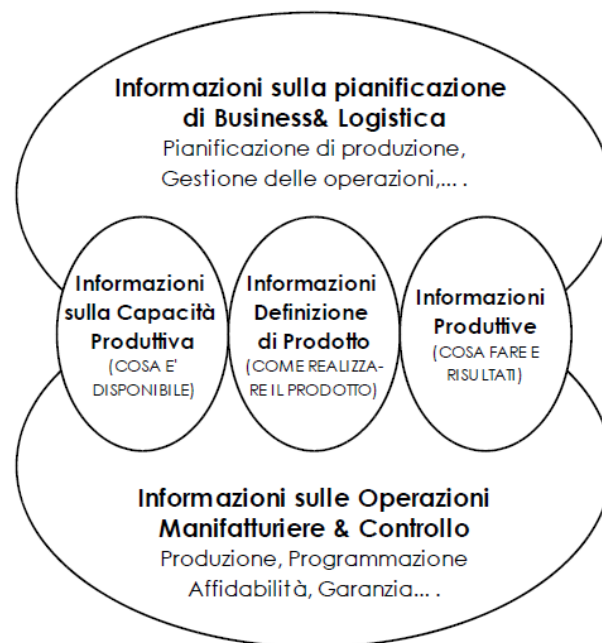


Figura 2.4: Lo schema mostra le tre macrocategorie di informazioni: capacità produttiva, definizione di prodotto e informazioni produttive, scambiate all'interfaccia tra il dominio di pianificazione aziendale e il dominio delle operazioni manifatturiere secondo lo standard ISA-95 [9].

Queste tre categorie non sono compartimenti separati e indipendenti: lo standard ISA-95 rappresenta la loro relazione attraverso un diagramma di Venn (fig. 2.5), evidenziando come le sovrapposizioni tra di esse generino informazioni aggiuntive condivise di particolare rilevanza operativa. Ad esempio, dall'intersezione tra informazioni sulla capacità produttiva e informazioni di pianificazione emerge il dato sulla disponibilità dell'equipaggiamento per la produzione pianificata, fondamentale per costruire piani realistici ed eseguibili. Dall'intersezione tra informazioni sulla definizione di prodotto e lista delle risorse nasce invece il concetto di segmento di prodotto, che definisce un insieme di operazioni svolte tipicamente in una stessa locazione e rappresenta la vista di maggior dettaglio disponibile a livello aziendale per controllare lavoro, materiali, costi e qualità [7].

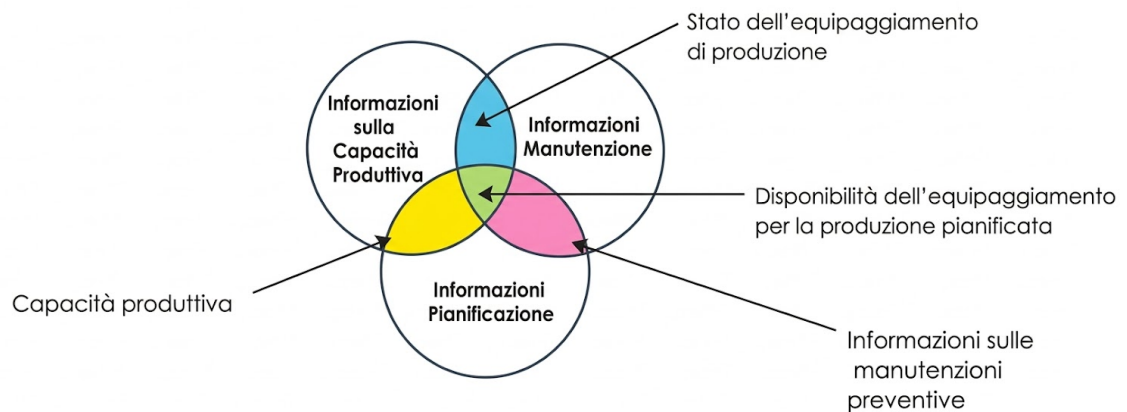


Figura 2.5: Il diagramma di Venn illustra i dati condivisi dalle tre categorie di informazione: capacità produttiva, stato dell'equipaggiamento di produzione, disponibilità dell'equipaggiamento per la produzione, informazioni sulle manutenzioni preventive nelle intersezioni emergono i dati condivisi tra più domini [9].

Capitolo 3

Cybertec e OperaMES

3.1 Cybertec – Gruppo Zucchetti

La società Cybertec, italiana, sviluppa software a supporto della gestione dei processi produttivi e della supply chain industriale [10]. L'azienda inizialmente ha focalizzato la propria offerta su strumenti per la pianificazione e schedulazione della produzione tra cui la piattaforma CyberPlan, utilizzata in ambito manifatturiero per la gestione operativa della produzione.

Nel tempo, Cybertec ha esteso la propria presenza nell'ambito dei sistemi MES tramite la fusione con Open Data, una software house italiana specializzata in sistemi di Manufacturing Execution System. A seguito di tale operazione, Cybertec ha acquisito il prodotto OperaMES [11]. Successivamente, nel 2020, Cybertec è entrata a far parte del Gruppo Zucchetti [12], attivo nel settore del software gestionale. Attualmente, Cybertec commercializza principalmente due soluzioni software: CyberPlan, dedicata alla pianificazione e alla schedulazione avanzata della produzione, e OperaMES, un sistema per il monitoraggio e la gestione in tempo reale dei processi produttivi.

3.2 OperaMES: panoramica e funzionalità

OperaMES è un sistema informativo di fabbrica progettato per supportare la gestione operativa dei processi produttivi, e si colloca tra il livello decisionale aziendale e il livello esecutivo dell'impianto. La piattaforma rientra nella categoria dei Manufacturing Execution Systems e, nelle sue versioni più recenti, integra funzionalità riconducibili al Manufacturing Operations Management, secondo il modello di riferimento ISA-95.

Il sistema consente la pianificazione e la schedulazione operativa a capacità finita, permettendo di coordinare le attività produttive sulla base della reale disponibilità di risorse, materiali e impianti. Grazie all'interconnessione bidirezionale con macchine e linee di produzione, OperaMES permette la raccolta automatica dei dati di processo e di produzione, fornendo informazioni aggiornate sullo stato della produzione. Questo approccio contribuisce a ridurre i ritardi nella disponibilità delle informazioni, migliorare la tempestività delle attività di controllo e supportare decisioni operative basate su dati aggiornati e affidabili.

Un aspetto rilevante della piattaforma è il monitoraggio continuo delle performance produttive, effettuato tramite il calcolo automatico di indicatori chiave di prestazione (KPI), tra cui l'Overall Equipment Effectiveness (OEE), indice che combina disponibilità, performance e qualità dell'impianto produttivo. L'analisi di tali indicatori permette di individuare inefficienze, colli di bottiglia e perdite di produttività, favorendo l'identificazione di possibili interventi correttivi e il miglioramento degli asset produttivi.

Il sistema OperaMES include funzionalità per la gestione integrata dei materiali e della tracciabilità, consentendo il controllo dei flussi lungo l'intero ciclo produttivo, dal rilascio dell'ordine fino al prodotto finito. Le funzionalità di identificazione dei lotti, di tracciabilità e rintracciabilità risultano particolarmente importanti nei contesti industriali caratterizzati da elevati requisiti di qualità, sicurezza e conformità normativa.

La piattaforma include moduli dedicati al controllo di qualità, al controllo di processo ed alla manutenzione degli impianti, permettendo la gestione delle principali aree funzionali tipiche dei sistemi MOM: produzione, qualità, manutenzione e magazzino. L'integrazione di tali moduli consente un maggiore coordinamento tra persone, processi e tecnologie, contribuendo a ridurre la frammentazione delle informazioni che può verificarsi in sistemi non integrati.

3.2.1 Architettura tecnologica e integrazione con i sistemi di produzione

Dal punto di vista dell'infrastruttura tecnologica, Opera richiede un ambiente server basato su sistema operativo Windows. La gestione dei dati è affidato a Microsoft SQL Server, che ospita due database distinti: uno dedicato ai dati operativi dell'applicazione e uno alla gestione delle licenze e degli utenti. La sicurezza delle comunicazioni tra client e server è garantita attraverso il protocollo HTTPS, con supporto di certificati digitali standard, mentre la gestione delle sessioni utente avviene tramite token di autenticazione.

OperaMES può essere configurata sia per un avvio manuale da parte dell'operatore, o con attivazione automaticamente all'avvio del server, garantendo così continuità operativa in ambienti di produzione diversi. Per quanto riguarda la connettività con i macchinari tra i protocolli più utilizzati vi è OPC-UA, uno standard industriale che consente la comunicazione sicura e strutturata tra macchine, controllori e sistemi software gestionali, indipendentemente dal produttore dell'hardware. Recentemente, si è diffuso il protocollo MQTT, pensato per la trasmissione di dati in tempo reale da sensori e dispositivi connessi, particolarmente utilizzato nei contesti legati all'Internet of Things.

3.2.2 I principali servizi applicativi di OperaMES

Tra i servizi applicativi disponibili in OperaMES, due risultano particolarmente rilevanti per la gestione delle attività aziendali: Plant Manager e Workflow Manager.

Opera Plant Manager

Opera Plant Manager è il servizio di OperaMES dedicato alla gestione e alla visualizzazione centralizzata delle informazioni aziendali e produttive. Attraverso questo modulo è possibile accedere al menu Master Data, che raccoglie tutte le anagrafiche fondamentali dell'azienda. In tale sezione vengono definiti e organizzati i dati relativi agli stabilimenti, alle risorse produttive (macchine e operatori), agli articoli e alle commesse, oltre che ai cicli di produzione associati ai prodotti finiti e semilavorati. Un altro aspetto riguarda la gestione dei materiali, che include l'anagrafica di magazzino e le informazioni relative a lotti e Unità di Movimentazione (UDM).

Oltre alla gestione dei dati strutturali il modulo, attraverso il menu *Execution Data*, consente il monitoraggio di tutte le azioni eseguite all'interno dell'azienda. In questa sezione vengono tracciati i lavori di produzione, l'avanzamento delle commesse e le movimentazioni dei materiali, sia interne che esterne allo stabilimento. Ciò consente di disporre di informazioni aggiornate sullo stato delle attività operative e della produzione, a supporto delle attività di controllo e dei processi decisionali.

Workflow Manager

Il Workflow Manager è il servizio di Opera MES destinato alle attività operative sul piano di produzione. Tale modulo viene utilizzato nei reparti produttivi per registrare tutte le attività svolte durante il turno lavorativo. L'operatore può segnalare l'inizio e la fine delle

singole operazioni, eventuali interruzioni del lavoro e gli interventi di manutenzione sulle macchine.

Attraverso il Workflow Manager, le attività operative vengono registrate e tracciate in tempo reale, consentendo la raccolta sistematica dei dati di produzione. Le informazioni inserite dagli operatori alimentano il sistema MES e si integrano con i dati gestiti dal Plant Manager, permettendo di ricostruire in modo completo l'avanzamento delle attività produttive.

3.2.3 Modello operativo della produzione in Opera MES

La gestione del flusso produttivo ha origine dalla commessa cliente, generata all'interno dell'ERP aziendale. La Commessa rappresenta l'ordine commerciale e contiene informazioni chiave quali il cliente, la data di creazione, la data di conferma, la data di consegna prevista ed eventuali priorità assegnate. Ogni commessa può essere composta da una o più Riga Commessa, ciascuna delle quali identifica un articolo ordinato e la relativa quantità richiesta dal cliente (fig. 3.1). Questo primo passaggio descrive il trasferimento dell'informazione dall'ambito commerciale a quello produttivo, come definito nell'interfaccia tra ERP e OperaMES.

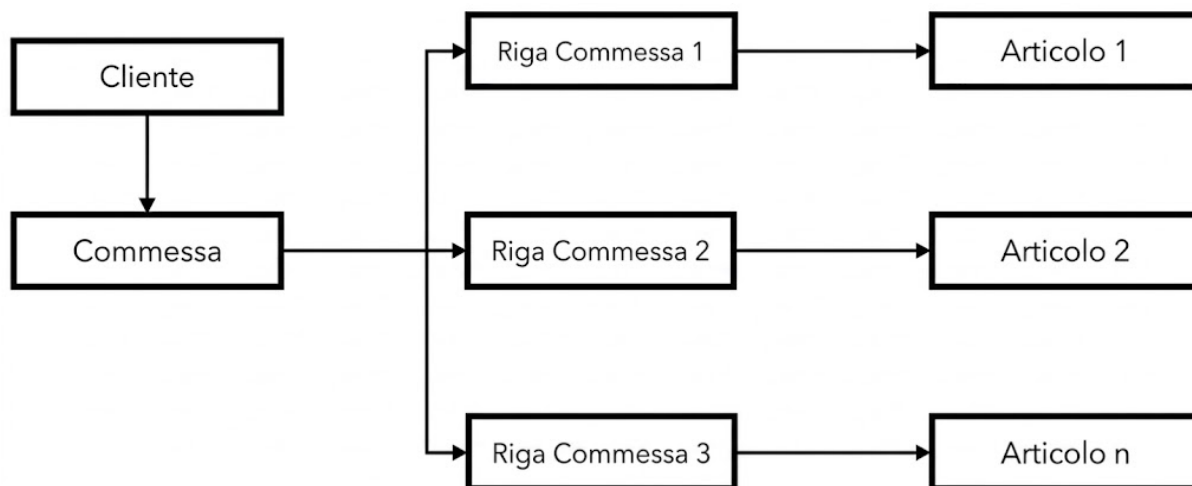


Figura 3.1: Relazione tra testata commessa del cliente e articoli mediante righe commessa di dettaglio.

A partire dalle righe commessa, l'ERP fornisce tutte le informazioni necessarie alla generazione degli Ordine di Lavoro. Per ciascun articolo viene creato il ciclo di produzione all'interno di OperaMES, che descrive la sequenza ordinata delle operazioni necessarie alla realizzazione del prodotto finito o di eventuali semilavorati. Il ciclo di produzione include

il prodotto di riferimento, l'insieme delle operazioni previste, i tempi standard associati a ciascuna operazione e l'ordine logico con cui queste devono essere eseguite.

Per ogni ciclo di produzione viene generato un ordine di lavoro, che rappresenta l'unità operativa attraverso cui viene pianificata e gestita la produzione dell'articolo associato alla riga commessa. Nel caso in cui il prodotto richieda semilavorati non disponibili a magazzino in quantità sufficiente, il sistema genera automaticamente ulteriori ordini di lavoro per la produzione degli articoli mancanti, mantenendo il legame logico tra prodotto finito e componenti intermedi. Ogni ordine di lavoro riflette direttamente una fase del ciclo di produzione e ne eredita le caratteristiche principali. Su questa struttura si innesta la pianificazione tramite lo schedatore di OperaMES.

Ogni ordine di lavoro è articolato in una o più fasi di lavorazioni descritte da operazione, centro di lavoro e tempo previsto. Il dettaglio delle singole lavorazioni è gestito attraverso l'entità denominata Lavoro. Ogni lavoro importa le informazioni definite nel ciclo di produzione (operazione, centri di lavoro, macchina e tempo previsto). La schedazione delle attività può essere effettuata in funzione della disponibilità delle risorse produttive. A tale scopo la tabella dei pianificati contiene le informazioni relative alla macchina assegnata alla lavorazione e le date di inizio e fine previste, aggiornate dallo schedatore. Gli operatori a bordo macchina, tramite l'interfaccia del Workflow Manager, visualizzano una copia operativa delle attività pianificate, denominate fasi o bolle di lavoro. Le fasi rappresentano l'avanzamento della singola lavorazione, sia in termini di tempo che di quantità prodotte (fig. 3.2).

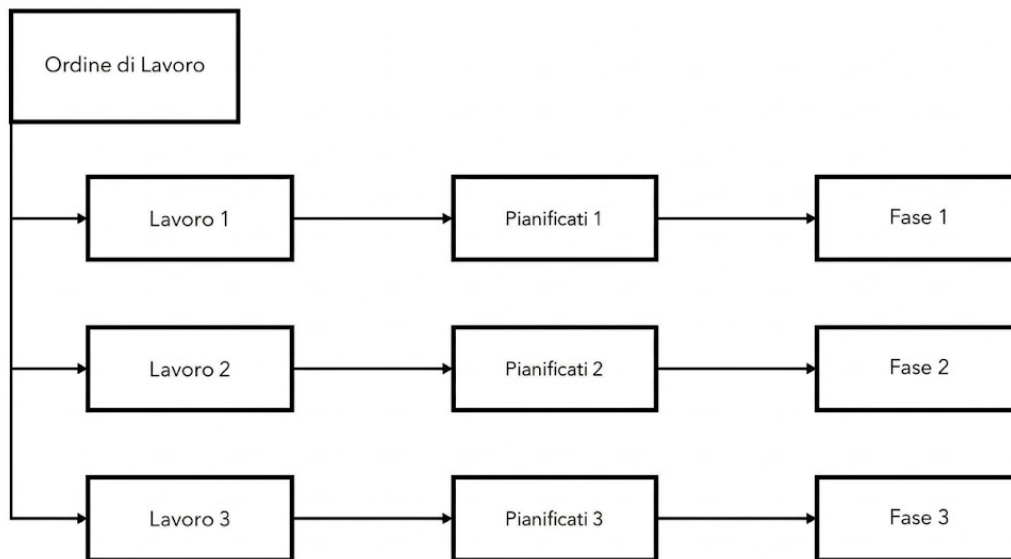


Figura 3.2: Flusso operativo della produzione: dall'ordine di lavoro alla definizione dei lavori (dettaglio tecnico), fino alla schedulazione dei pianificati e alla gestione esecutiva delle fasi (bolle di lavoro) per il monitoraggio dell'avanzamento.

3.2.4 Lo schedulatore

Lo schedulatore importa gli ordini di lavoro generati e li rende disponibili per la pianificazione dettagliata. L'utente può visualizzare l'elenco degli ordini da schedulare, selezionare quelli da includere nel piano di produzione ed eventualmente modificarne parametri come priorità o sequenza. Una volta avviata la schedulazione, le fasi vengono collocate temporalmente tenendo conto dei vincoli disponibili e della disponibilità di risorse e materiali.

Il risultato della schedulazione è visibile nella tabella delle fasi pianificate, che riporta per ciascuna fase la risorsa assegnata e le date previste di inizio e fine. Tali informazioni costituiscono il piano operativo di riferimento per l'esecuzione della produzione. Gli operatori possono consultare una copia delle attività pianificate sotto forma di fasi o bolle di lavoro.

Algoritmi di assegnazione dei task

Lo schedulatore prevede diverse modalità di assegnazione dei task alle macchine, ciascuna progettata per ottimizzare il processo produttivo in funzione del contesto operativo. Le modalità disponibili sono le seguenti:

1. Sequenziale (0) – Default I task vengono assegnati in ordine sequenziale alle macchine, partendo dalla prima disponibile. L'assegnazione prosegue ciclicamente fino alla schedulazione completa di tutti i task. Questa modalità garantisce una distribuzione ordinata e prevedibile ed è particolarmente indicata in sistemi semplici o in scenari di test.

2. Casuale (1) I task vengono distribuiti in modo casuale tra le macchine disponibili. Tale modalità può essere utilizzata per analisi comparative di prestazioni e per valutare l'impatto della variabilità dell'assegnazione.

3. Minima data disponibile – Time Window (2) Il task viene assegnato alla macchina che presenta la prima data di inizio disponibile considerando esclusivamente le finestre temporali di disponibilità, senza valutare l'occupazione futura derivante da task già schedulati o specifiche tecniche avanzate. Questa modalità privilegia la riduzione del tempo di attesa rispetto all'aderenza a caratteristiche specifiche della macchina.

4. Minima data disponibile – Task schedulati (3) Il task viene assegnato alla macchina che, considerando i task già pianificati, offre la prima data di inizio disponibile. L'algoritmo tiene quindi conto dell'occupazione futura della risorsa, risultando particolarmente efficace nei contesti in cui è necessario ottimizzare la coda di lavorazione e migliorare l'efficienza complessiva dell'impianto.

5. Basata sulla data di fine (4) Il task viene assegnato alla macchina per la quale si prevede il completamento più rapido, calcolando la data di fine in funzione delle caratteristiche specifiche della macchina (ad esempio tempi di processo differenti). Questa modalità è utilizzata in sistemi complessi in cui l'obiettivo è la minimizzazione del tempo totale di completamento (makespan) o in presenza di macchine con capacità e prestazioni differenti.

La selezione dell'algoritmo influisce direttamente su:

- makespan;
- bilanciamento del carico tra le macchine;
- tempo di inattività delle risorse;
- rispetto dei vincoli temporali e tecnici.

Gestione del batching

Nel contesto della schedulazione della produzione, il batching rappresenta la gestione delle relazioni temporali e operative tra fasi consecutive di uno stesso ordine di produzione. Il sequenziatore supporta diverse modalità di batching, configurabili per ogni fase del ciclo produttivo.

Oltre al codice di batching, il comportamento è influenzato da parametri aggiuntivi quali:

- `la_tmpminfs`: tempo minimo per l'avvio della fase successiva;
- `la_qntbch`: quantità batch per la gestione dello split (divisione in sottolotti).

In assenza di valori specifici a livello di task, il sistema utilizza quelli definiti nel ciclo produttivo; in mancanza anche di questi, assume valori di default (pari a zero). Le modalità di batching configurabili sono :

0 – No batching La fase successiva inizia solo dopo il completamento totale della fase corrente. È possibile definire un ritardo fisso tra le fasi tramite `la_tmpminfs`. In assenza di tale parametro, la fase successiva viene avviata immediatamente.

1 – Transfer batching Questa modalità consente la sovrapposizione parziale tra due fasi consecutive. La fase successiva può iniziare dopo un intervallo minimo definito da `la_tmpminfs`, anche se la fase precedente non è ancora conclusa. Ciò consente un flusso continuo delle unità tra operazioni successive.

2 – Split batching Il lotto viene suddiviso in sotto-lotti. La fase successiva inizia quando la fase corrente ha completato una quantità pari a `la_qntbch`. Il tempo necessario per produrre tale quantità (incluso l'eventuale setup) determina l'offset di sovrapposizione, eventualmente incrementato da `la_tmpminfs`. Lo split può essere ottenuto anche manualmente suddividendo i task nel diagramma di Gantt che descrive la temporizzazione delle attività.

3 – Same machine Le fasi successive dello stesso ordine vengono pianificate preferenzialmente sulla stessa macchina, se compatibile. L'obiettivo è mantenere continuità produttiva e ridurre i cambi di risorsa. L'eventuale intervallo temporale tra le fasi può essere regolato tramite `la_tmpminfs`.

4 – Ignore calendar Questa modalità è simile al caso sequenziale, ma l'eventuale ritardo tra le fasi viene calcolato ignorando il calendario lavorativo. Il tempo di attesa viene sommato in modo continuo, anche attraversando periodi non lavorativi (es. pause o fine turno).

5 – Lock batch In presenza di più batch appartenenti allo stesso ordine, questa modalità forza la schedulazione sequenziale immediata dei batch successivi sulla stessa macchina del batch marcato come bloccante. In questa modalità si mantiene una maggiore continuità nella produzione di ordini suddivisi in più lotti, riducendo la frammentazione della pianificazione.

Vincoli di disponibilità dei materiali nella schedulazione

Un aspetto rilevante nella gestione operativa è il legame tra i lavori e la distinta di prelievo. Per ciascun lavoro viene infatti generata una distinta che, sulla base del ciclo di produzione e della distinta base dell'articolo da produrre, indica i materiali da prelevare e le quantità necessarie per la produzione di una singola unità. Tale collegamento esplicita la relazione tra avanzamento produttivo e consumo di materiali.

La schedulazione tiene conto in modo integrato di queste informazioni, considerando non solo la sequenza delle fasi e la disponibilità delle risorse, ma anche la disponibilità dei materiali. Il sequenziatore verifica, per ogni operazione, che i componenti richiesti siano presenti a magazzino o risultino in arrivo tramite ordini di acquisto già emessi. Se un'operazione dipende da un materiale non ancora disponibile, la sua data di inizio viene automaticamente posticipata alla prima data utile, corrispondente all'arrivo stimato del materiale. In questo modo la pianificazione riflette una situazione produttiva realistica e coerente con i vincoli di approvvigionamento.

Quando la gestione materiali è attiva, il sistema applica ulteriori vincoli durante il calcolo della schedulazione. Per i materiali acquistati, il sequenziatore utilizza le date previste di consegna per aggiornare la prima data utile di avvio delle operazioni collegate, garantendo che nessuna fase venga pianificata prima della disponibilità effettiva dei componenti. Nel caso in cui alcuni materiali risultino mancanti, il sistema li segnala e genera proposte di ordine di acquisto, con conseguente posticipo delle le operazioni che ne dipendono. Se i materiali non risultano reperibili nei tempi richiesti, le fasi interessate restano non schedulate, evidenziando la criticità.

Al termine del calcolo, l'utente ha a disposizione una visione completa della schedulazione, con l'indicazione delle fasi pianificate, delle risorse impegnate e degli eventuali

vincoli legati ai materiali. Le informazioni critiche risultano immediatamente visibili, consentendo interventi mirati come l'emissione di ordini di acquisto o la revisione delle priorità produttive. L'insieme delle relazioni tra fasi, risorse e disponibilità dei materiali costituisce la base operativa per le successive elaborazioni di sistema.

3.2.5 Modulo materiali di OperaMES

La gestione dei materiali in OperaMES è finalizzata al supporto delle attività di magazzino e alla tracciabilità dei componenti all'interno dello stabilimento. Il modulo materiali è progettato per gestire e controllare in tempo reale il flusso dei materiali in entrata e in uscita dal magazzino e durante le diverse fasi del processo produttivo, fornendo informazioni aggiornate sulla loro disponibilità. La conoscenza puntuale delle giacenze di magazzino consente una significativa riduzione delle scorte necessarie a parità di fabbisogno produttivo. In contesti in cui tali informazioni non sono gestite in modo strutturato, infatti, è frequente che le giacenze non risultino allineate ai dati registrati a causa della mancata conoscenza dei reali consumi dei materiali. Allo stesso tempo, la conoscenza dell'ubicazione precisa dei prodotti consente di ridurre i tempi di movimentazione, aumentando l'efficienza operativa e garantendo un rifornimento puntuale delle macchine e delle linee produttive.

Il modulo supporta inoltre la gestione completa della tracciabilità e della rintracciabilità dei materiali, utili per ricostruire la genealogia di un prodotto e gestire eventuali situazioni di non conformità. In particolare la tracciabilità permette di seguire i lotti dei materiali utilizzati lungo tutte le fasi di produzione, dall'origine delle materie prime fino alla distribuzione del prodotto finito, mentre la rintracciabilità consente, partendo da un prodotto finito, di risalire ai componenti, ai lotti e ai dati di produzione associati, rendendo possibile l'identificazione dei materiali coinvolti in eventuali richiami del prodotto. Le attività di magazzino vengono generalmente svolte dagli operatori tramite terminali portatili o tablet industriali, che consentono la registrazione in tempo reale dei movimenti di materiale.

Dal punto di vista strutturale, il modulo materiali di OperaMES si basa su un'architettura logica composta da magazzini, locazioni fisiche e unità di movimentazione, che rappresentano l'entità minima di stoccaggio e movimentazione del materiale all'interno dello stabilimento. Le unità di movimentazione, quali scatole, pallet o contenitori, sono identificate in modo univoco e costituiscono la base del sistema di gestione dei materiali, consentendo il controllo dei flussi e della tracciabilità. Il modulo Materiali è strutturato nei seguenti elementi (fig. 3.3):

- magazzino, inteso come insieme delle aree fisiche di stoccaggio;
- locazioni, che identificano le singole posizioni fisiche all'interno del magazzino;
- lotti, utilizzati per identificare prodotti e materiali con caratteristiche comuni;
- unità di movimentazione, entità minima di stoccaggio, rappresentata da scatole, pallet o contenitori identificati in modo univoco.

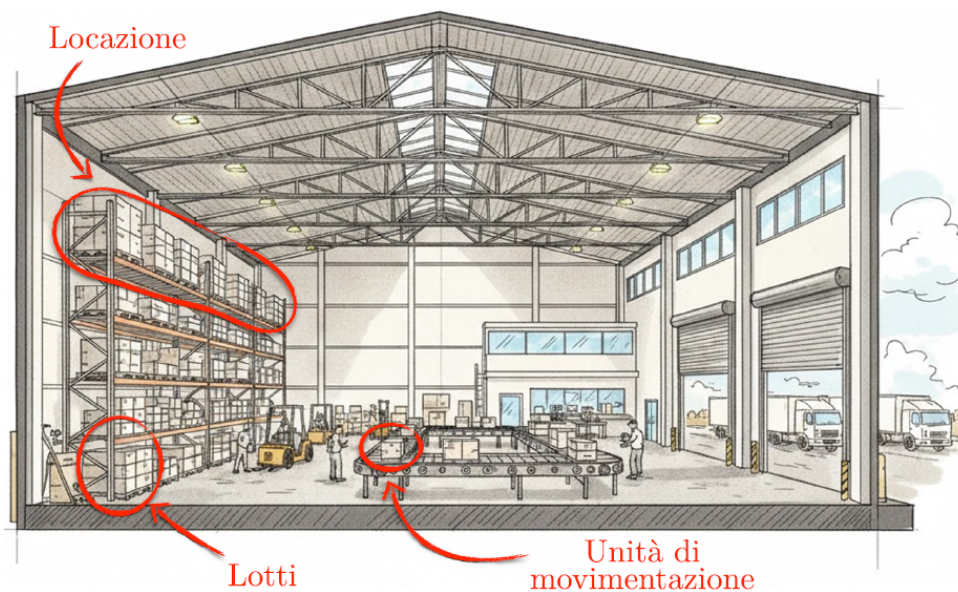


Figura 3.3: Elementi fondamentali di un sistema di magazzino: locazioni, lotti di prodotto e unità di movimentazione.

La configurazione delle movimentazioni avviene all'interno del modulo software Execution, dove vengono definite le missioni e i relativi ordini di movimentazione. Le missioni identificano l'operazione nel suo complesso e ne consentono il tracciamento, mentre gli ordini specificano nel dettaglio quali articoli devono essere spostati, in quale quantità e verso quale destinazione.

I singoli ordini di movimentazione e le missioni possono trovarsi in diversi stati codificati numericamente secondo la seguente convenzione:

- 00 – Non eseguibile.
- 10 – Eseguibile
- 20 – In esecuzione.
- 30 – Eseguiti

3.3 Architettura e logiche di integrazione OperaMES e sistemi ERP

OperaInterfaces è il sistema di comunicazione bidirezionale utilizzato per lo scambio di dati tra i sistemi gestionali ERP e OperaMES. Lo scambio avviene tramite dei pacchetti di dati denominati messaggi che vengono trasferiti lungo due direttrici: inbound, per l'invio di direttive verso il MES e outbound, per la restituzione dei consuntivi di produzione all'ERP.

Dal punto di vista tecnico il funzionamento si basa su un'architettura disaccoppiata che utilizza tabelle di staging e procedure memorizzate. Le tabelle di staging sono aree di sosta temporanee all'interno del database e svolgono la funzione di interfaccia tra ERP e MES. Anzichè scrivere direttamente nelle tabelle del sistema, il software deposita i dati nelle tabelle intermedie, denominate anche tabelle di interfaccia o di frontiera.

L'utilizzo di tali tabelle risponde a diverse esigenze tecniche e di sicurezza tra cui:

- separare i dati provenienti dall'esterno dalle tabelle operative del MES, riducendo il rischio di compromettere l'integrità del database operativo di Opera;
- consentire controlli di coerenza e verifiche formali (ad esempio la correttezza dei codici prodotto o dei formati data) prima dell'elaborazione definitiva;
- tracciare lo stato di elaborazione dei messaggi tramite campi dedicati, indicando se il dato è in attesa, elaborato correttamente o bloccato da un errore, facilitando l'identificazione delle anomalie di sincronizzazione, permettendo un intervento solo sui record problematici senza interrompere l'intero flusso;
- Gestire l'invio di grandi moli di dati senza interferire con le attività in tempo reale del MES. In questo modo, agendo come un ammortizzatore, permette ai sistemi di dialogare in modo asincrono, salvaguardando la reattività della fabbrica ed evitando rallentamenti nelle operazioni di linea.

L'integrazione può avvenire secondo diverse modalità tra cui l'utilizzo di procedure locali per una comunicazione diretta sul database, l'impiego di Web API oppure l'adozione di database di appoggio dedicati alla gestione dello scambio informativo.

Capitolo 4

Analisi della gestione materiali nel reparto di montaggio

4.1 Modalità dell'analisi

In questo capitolo viene descritto il progetto di implementazione del Sistema OperaMes in un'azienda del settore idrotermosanitario con l'obiettivo di superare le principali inefficienze riscontrate attraverso l'analisi delle modalità di gestione della produzione. È importante sottolineare che quanto descritto rappresenta una sezione specifica di un'analisi globale più ampia condotta sull'intera operatività aziendale; il presente approfondimento si concentra esclusivamente sui flussi di materiali e sulla logistica del reparto di montaggio.

Relativamente all'azienda oggetto di studio, l'obiettivo è analizzare l'attuale gestione dei flussi materiali, attualmente frammentata, e definire un modello operativo che favorisca un maggiore coordinamento tra la produzione e la logistica, ottimizzando la disponibilità dei componenti a bordo macchina.

L'indagine è stata strutturata adottando il framework metodologico STAR, impiegato per descrivere la configurazione iniziale dei flussi materiali e definire le azioni necessarie a risolvere le criticità emerse. Inoltre, è stato adottato un approccio Gemba Walk [13], metodologia di matrice Lean basata sull'osservazione diretta delle attività nel luogo in cui esse si svolgono (gemba, "luogo reale"). Durante due giornate di osservazione diretta sono stati coinvolti i principali responsabili operativi del reparto: il capo magazziniere e il capo reparto montaggio. La scelta di interlocutori con ruoli complementari ha consentito di ricostruire il flusso logistico e produttivo nella sua interezza, osservando sia la prospettiva della gestione delle scorte e dei movimenti fisici di magazzino, sia quella dell'organizzazione delle attività di assemblaggio a bordo macchina. Durante le sessioni di osservazione,

è stato analizzato il processo di entrata merce: è stato possibile verificare come il ricevimento dei materiali avvenisse attraverso la compilazione manuale di documenti cartacei e l'inserimento successivo dei dati nel gestionale aziendale, senza automatismi né controlli incrociati strutturati tra quanto fisicamente ricevuto e quanto atteso dal piano di produzione. Al termine delle osservazioni sono state condotte interviste semi-strutturate con entrambi i responsabili, finalizzate a raccogliere le criticità percepite nel lavoro quotidiano e le proposte di miglioramento spontaneamente espresse dagli operatori. Il capo magazzino ha segnalato in particolare la difficoltà nella gestione dei resi e nella tracciabilità delle quantità residue nei cassoni, nonché il tempo eccessivo dedicato alla trascrizione manuale dei codici articolo. Il capo reparto montaggio ha invece evidenziato i frequenti fermi produttivi causati dalla mancanza di materiale a bordo macchina, riconducibili sia a ritardi nella preparazione del picking sia a disallineamenti tra la distinta base tecnica e lo schema di montaggio utilizzato in reparto. Le evidenze raccolte hanno consentito di individuare e mappare le inefficienze ricorrenti, traducendole in proposte progettuali mirate all'ottimizzazione del modulo materiali di OperaMES. Le soluzioni correttive sono state definite a livello progettuale; il percorso si concluderà con la fase di User Acceptance Testing (UAT), per la verifica dell'efficacia operativa.

4.1.1 Descrizione del processo as-is di approvvigionamento materiali nel reparto montaggi

Il processo di approvvigionamento dei materiali a supporto della produzione è attualmente caratterizzato da una forte componente manuale e da una elevata frammentazione delle informazioni lungo i diversi passaggi operativi. Il flusso prende avvio dal programma di produzione, che costituisce il documento di riferimento principale per la pianificazione delle attività produttive, riportando il piano nei termini di ordini da evadere, sequenza operativa e scadenze.

Sulla base del programma di produzione, viene quindi creato l'ordine di produzione, che costituisce l'input operativo per l'avvio delle attività di montaggio, come mostrato nel flowchart nella figura [4.1](#).

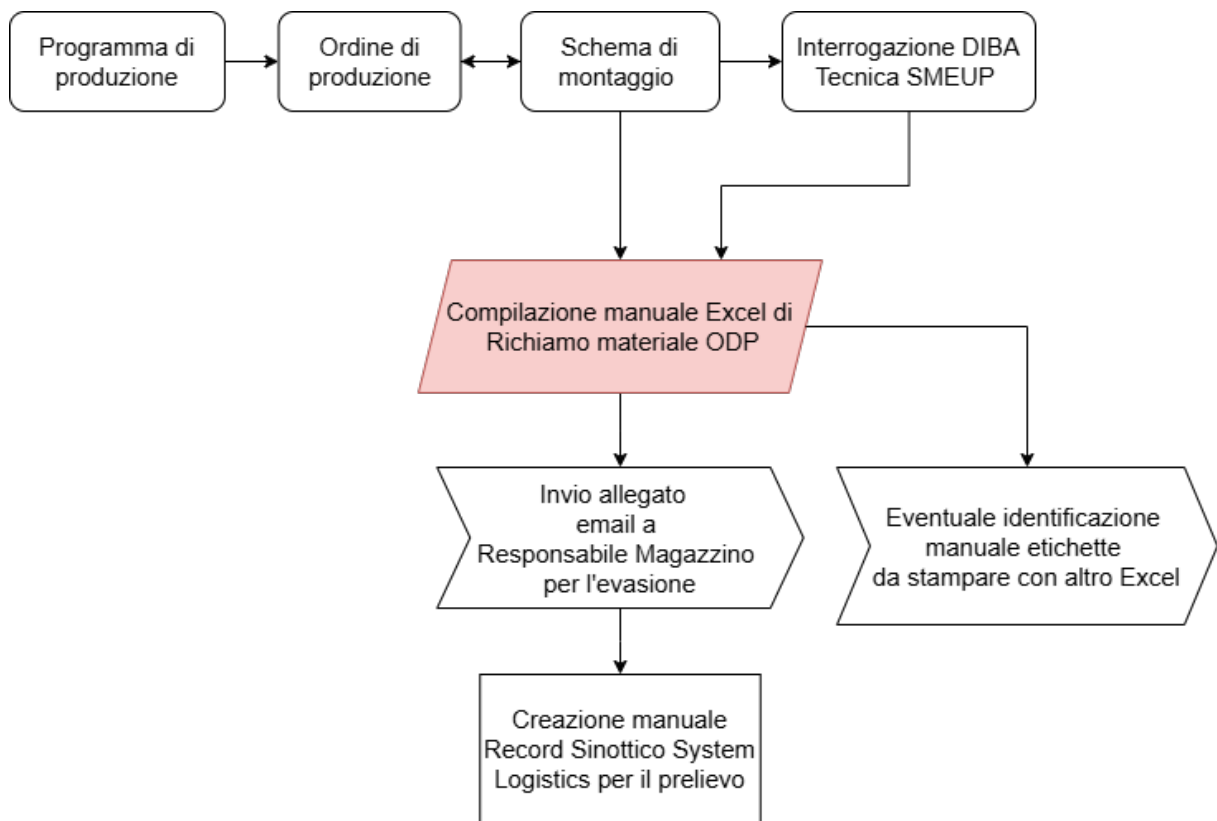


Figura 4.1: Il diagramma fornisce una rappresentazione visiva del flusso attuale nel processo di preparazione e gestione dei materiali nel reparto .

A partire da tale ordine viene predisposta la picking list dei materiali necessari. Questa attività che non è supportata da un sistema informativo integrato, ma avviene attraverso la compilazione manuale del foglio Excel di Richiamo Materiale ODP. Tale documento rappresenta un elemento centrale del processo as-is e funge da collegamento tra pianificazione, produzione e magazzino. Per la compilazione del foglio Richiamo Materiale, l'operatore di reparto si basa innanzitutto sullo schema di montaggio che fornisce le indicazioni operative per l'assemblaggio del prodotto. Il documento si articola in due parti (fig. 4.2):

- intestazione: definisce l'obiettivo produttivo identificando l'ordine specifico, il prodotto finito da realizzare e il target quantitativo fissato in unità. Viene inoltre specificato il centro di lavoro come destinazione fisica dei materiali;
- picking list: una tabella che elenca i componenti necessari per la produzione, specificandone descrizione e quantità richiesta;

Tuttavia, tale schema non include la totalità dei componenti impiegati durante la fase produttiva. In particolare, risultano assenti alcuni elementi accessori e di dettaglio, come

i materiali di confezionamento e le specifiche legate alle etichette richieste dal cliente, sia in termini di formato sia di contenuto informativo.

RICHIAMO MATERIALE per ORDINE DI PRODUZIONE												
		NR ORDINE 1	NR ORDINE 2	NR ORDINE 3	NR ORDINE 4							
		A53797	A53786									
ARTICOLO	05909010	36140065										
Q.Tà RESIDUA	(3.377) x	(1.122) -x	4497									
CENTRO DI LAVORO	000550	000550										

ARTICOLO	DESCRIZIONE	Q.TA RICHIESTA	SY	CE	MA	FO	MN	RI	KANBAN	DELTA	BARCODE ARTICOLO	NOTE
09126005	MANOPOLA TESTA TERMOST. PENTA-HEND	1.122	0	867	0	0	0	0	0	-255		
08571005	MANOPOLA TESTA TLLO BULLO DANFOSS	3.375	7.611	6.839	0	0	0	0	0	11.075		
02027005	CORPO x TESTA TERMOSTATICA	4.497	12.390	11.627	0	264	0	0	0	29.784		
01938044	GHERA ZKIRINATA TESTA TERM.CROMATA	4.497	0	38.901	0	2.045	0	0	0	36.449		
08565005	BULBO TERIMDSTATICO DANFOSS	4.497	160.000	19.596	0	371	0	0	0	193.470		
08500005	MOLLA SPINTORE TESTA TERMOSTATICA	4.497	172.500	35.923	0	0	0	0	10.500	203.926		
08498005	ASTA SPINTORE TERMOSTATICA	4.497	160.000	16.603	0	0	0	0	16.000	212.106		
08499005	BLOCCHETTO DI AGGANCIO PER SPINTORE	4.497	188.346	45.222	0	1.167	0	0	10.000	230.240		
01981005	INSERTO PER FERMAD TESTA TERMOST.	8.394	200.000	198.632	0	3.226	0	0	0	392.864		

Figura 4.2: Il documento specifica il richiamo di materiale per gli ordini A53797 e A53786 per la produzione degli articoli 05909010 e 36140065. La tabella elenca i componenti necessari e la quantità richiesta per la produzione.

Per colmare queste lacune informative, è necessaria un'ulteriore attività di consultazione manuale attraverso l'interrogazione della distinta base tecnica (DIBA), che consente di identificare in modo completo tutti i componenti necessari alla produzione del prodotto finito; un esempio è mostrato in figura 4.3. Anche in questo caso, le informazioni ottenute non risultano automaticamente integrate, ma devono essere riportate manualmente nel foglio Excel di richiamo materiale.

- informazioni frammentate e incomplete: lo schema di montaggio non include tutti i componenti necessari (ad esempio materiali di confezionamento o etichette specifiche richieste dal cliente). Di conseguenza tali informazioni devono essere recuperate da file Excel esterni, frammentando il flusso informativo;
- disallineamento tra la distinta base (DIBA) e schema di montaggio: si riscontrano frequenti incongruenze tra questi due elementi. In assenza di un sistema strutturato per la gestione delle revisioni, il reparto subisce fermi in attesa di indicazioni da parte della pianificazione;
- pianificazione non integrata con la disponibilità materiali: gli Ordini di Produzione (ODP) vengono pianificati senza una verifica puntuale della disponibilità dei materiali o dello spazio disponibile a bordo macchina. Ciò può causare rifiuti delle richieste o problemi di stoccaggio temporaneo nelle aree produttive;
- confezionamento integrato alla produzione: di conseguenza il montaggio può solo avvenire se sono disponibili anche i materiali di imballaggio. questo vincolo rallenta la produzione e riduce la flessibilità;
- riconfezionamento: in caso di mancanza di prodotto con imballo specifico, si utilizza prodotto finito destinato a evadere ordini con confezioni diverse;
- gestione inefficiente dei contenitori e dei resi inefficiente: i cassoni non vengono restituiti se il materiale non è completamente utilizzato, dal momento che potrebbe servire per lavorazioni successive. Inoltre, il reso non è tracciato in modo strutturato e non esiste un sistema per calcolare automaticamente la quantità residua teorica in base alla pesatura iniziale e al consumo effettivo;
- riversamento dei cassoni: nel caso in cui il contenitore non sia sufficientemente capiente, il contenuto viene redistribuito in cassoni aggiuntivi aumentando il numero di movimentazioni e la complessità gestionale;
- ODP con articoli comuni non gestiti in modo centralizzato: quando più ordini di produzione condividono gli stessi articoli in distinta base, non risulta come venga gestito l'approvvigionamento. Questa situazione può portare a sovrapposizioni o mancanze di materiale.

4.1.3 Proposta di modello to-be per la gestione dei flussi logistici nel reparto montaggio

Lo scenario to-be proposto mira a superare le principali criticità emerse nell'analisi del processo as-is, introducendo un modello di gestione dei flussi logistici maggiormente automatizzato, strutturato e integrato con i sistemi informativi aziendali. Le proposte di miglioramento riguardano sia l'automazione delle attività operative sia l'introduzione di parametri di ottimizzazione in grado di supportare una pianificazione più efficiente e tracciabile dell'approvvigionamento materiali (fig. 4.4). In particolare, si individuano i seguenti ambiti di intervento:

- **Automazione della picking list:** si propone di automatizzare la generazione della picking list, eliminando la compilazione manuale dei fogli Excel. Gli ordini di trasferimento verrebbero creati automaticamente dal sistema e raggruppati in missioni operative per ciascun ordine di produzione (ODP), con benefici in termini di efficienza operativa, riduzione degli errori manuali e miglioramento della tracciabilità.
- **Introduzione di parametri di ottimizzazione per la logistica:** durante la creazione degli ordini di trasferimento, si propone l'introduzione di specifici parametri decisionali, tra cui:
 - locazione preferenziale dello stock articolo: definizione di una locazione preferenziale per determinati articoli, distinguendo il materiale proveniente dal magazzino fisico da quello dei magazzini verticali, al fine di ottimizzarne la gestione e il posizionamento in funzione della frequenza di utilizzo;
 - locazione preferenziale a bordo macchina: assegnazione degli articoli a specifiche aree prossime alle macchine di produzione, riducendo i tempi di trasferimento durante le fasi di montaggio;
 - dimensione della locazione a bordo macchina: valutazione dello spazio disponibile in prossimità delle macchine per determinare quali materiali possano essere efficacemente allocati e gestiti;
 - volume dell'articolo composto: utilizzo del volume del prodotto come criterio per definire la priorità di approvvigionamento e stoccaggio a bordo linea, tenendo conto dei vincoli di capacità delle aree di montaggio;

- lead time logistico: definizione di un lead time logistico specifico per ciascun articolo, utile a sincronizzare il rifornimento dei materiali con il piano di produzione e a migliorare l'affidabilità del processo.
- **Separazione tra la fase di produzione e quella di confezionamento:** tale soluzione consentirebbe di avviare le attività di montaggio anche in assenza dei materiali di imballaggio, aumentando la flessibilità operativa e riducendo i tempi di attesa.
- **Gestione strutturata delle eccezioni:** si evidenzia la necessità di formalizzare la gestione delle situazioni eccezionali, quali lo smontaggio di componenti.
- **Flusso approvativo per le modifiche alla DIBA:** le richieste di inserimento di nuovi componenti in distinta base da parte degli operatori dovranno generare una notifica automatica. La validazione finale sarà di competenza del caporeparto, garantendo controllo, coerenza e tracciabilità delle modifiche.
- **Comunicazione digitale tra reparti:** si propone di estendere la modalità digitale di richiesta dei materiali a tutti i reparti produttivi, favorendo una comunicazione più trasparente, anticipata e tracciabile tra produzione e logistica.
- **Gestione differenziata delle locazioni:** i parametri di allocazione dovranno essere differenziati tra macchine automatiche e lavorazioni manuali, tenendo conto delle diverse esigenze di movimentazione e di spazio.
- **Matrice di approvvigionamento per articoli comuni:** per ordini di produzione che condividono articoli in distinta base, si propone l'introduzione di una matrice di approvvigionamento, in grado di supportare una gestione centralizzata e ottimizzata dei materiali comuni.
- **Gestione avanzata dei cassoni e dei resi:** si propone di strutturare in modo più rigoroso la gestione dei cassoni. Per i resi, si suggerisce il calcolo della quantità residua teorica come differenza tra la pesatura iniziale e il consumo effettivo, migliorando l'accuratezza e la tracciabilità dei flussi di materiale.

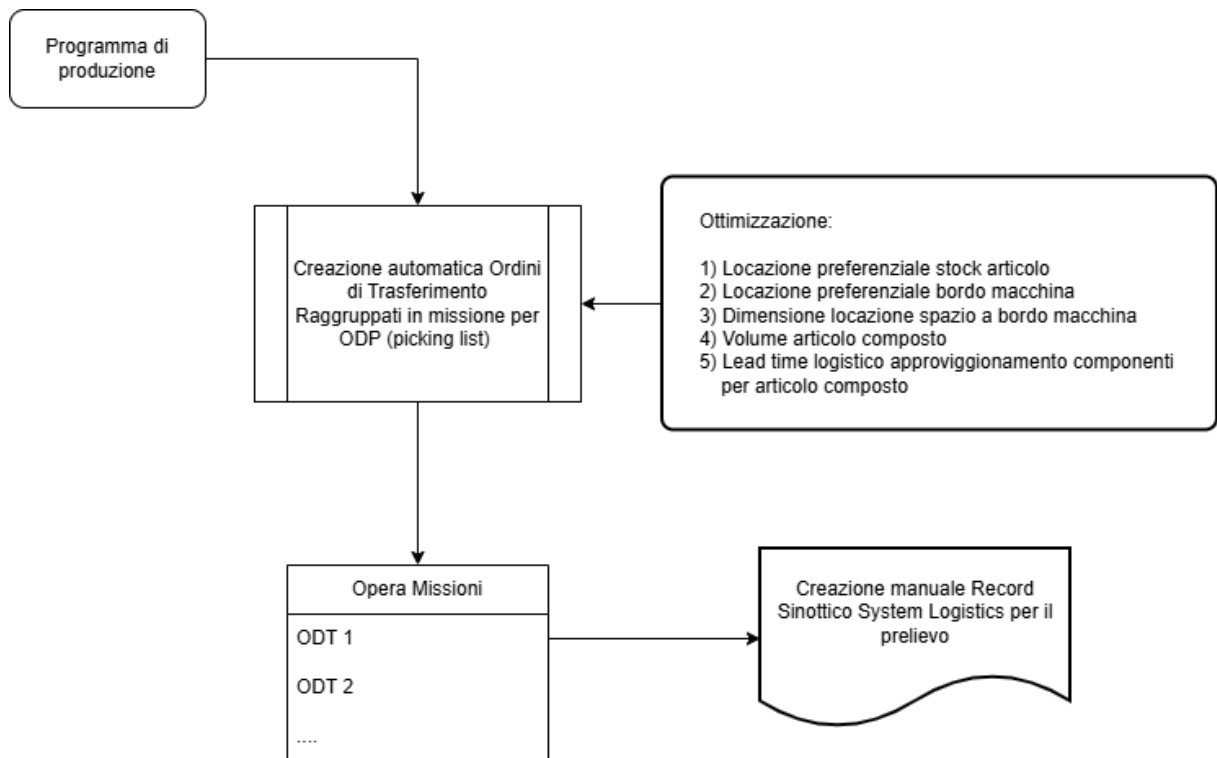


Figura 4.4: Lo schema illustra il modello operativo to-be per la gestione del flusso logistico. Il processo integra parametri di ottimizzazione su spazi e tempi per generare le missioni di prelievo necessarie all'approvvigionamento del bordo macchina. L'ultimo step è la creazione manuale di un record nel software aziendale per la gestione dei magazzini, System Logistics

Capitolo 5

Ottimizzazione della logistica interna tramite la generazione dinamica delle missioni di trasporto

5.1 Integrazione ERP SMEUP - OperaMES

L'integrazione tra ERP aziendale e il sistema OperaMES avviene attraverso uno scambio di dati in tempo reale che utilizza un database condiviso fra i due sistemi. Questa integrazione tra ERP esistente e OperaMES è stata riprogettata abbandonando il precedente modello basato sullo scambio di file via FTP, un protocollo standard utilizzato per la trasmissione di file in formato file di testo o CSV. Tale modalità di scambio era poco flessibile, difficile da monitorare in tempo reale e soggetto a errori di sincronizzazione. Per superare queste criticità è stato introdotto un database accessibile da entrambi i sistemi, denominato Opera Interfaces. Il flusso dei dati è regolato da procedure che agiscono da filtro e garantiscono che ERP non scriva mai direttamente nelle tabelle operative di OperaMES. Il collegamento tecnico è realizzato tramite la tecnologia linked server SQL, che consente a Opera di accedere direttamente alle librerie del software gestionale aziendale SMEUP.

5.1.1 Flusso bidirezionale e perimetro informativo

Il flusso di scambio prevede che il gestionale SMEUP depositi le informazioni direttamente nelle entità del database OperaInterfaces. Successivamente, una schedulazione automatica delle procedure provvede alla validazione e all'importazione dei dati all'interno di

OperaMES. Oltre ai dati di pianificazione ed esecuzione necessari al processo produttivo, come commesse, ordini di lavoro, cicli di produzione e distinte di prelievo, vengono scambiati anche informazioni relative a datasheet dei componenti, anagrafiche di aziende e del personale tecnico, da contattare in modo da garantire una condivisione più efficiente di informazioni con il personale addetto alla produzione. Un analogo flusso di esportazione riporta i dati di produzione da OperaMES verso il software gestionale: gli eventi rilevati in reparto, come avanzamenti di fase, dichiarazioni di produzione e performance delle risorse, sono registrati in una tabella denominata ProductionEvent, gli eventi relativi alla tracciabilità dei materiali sono registrati nella tabella Traceability Event, entrambe di OperaInterfaces. Attraverso chiamate di esportazione programmate, questi messaggi sono trasmessi a SMEUP che aggiorna istantaneamente lo stato degli ordini e le giacenze di magazzino (fig. 5.1).

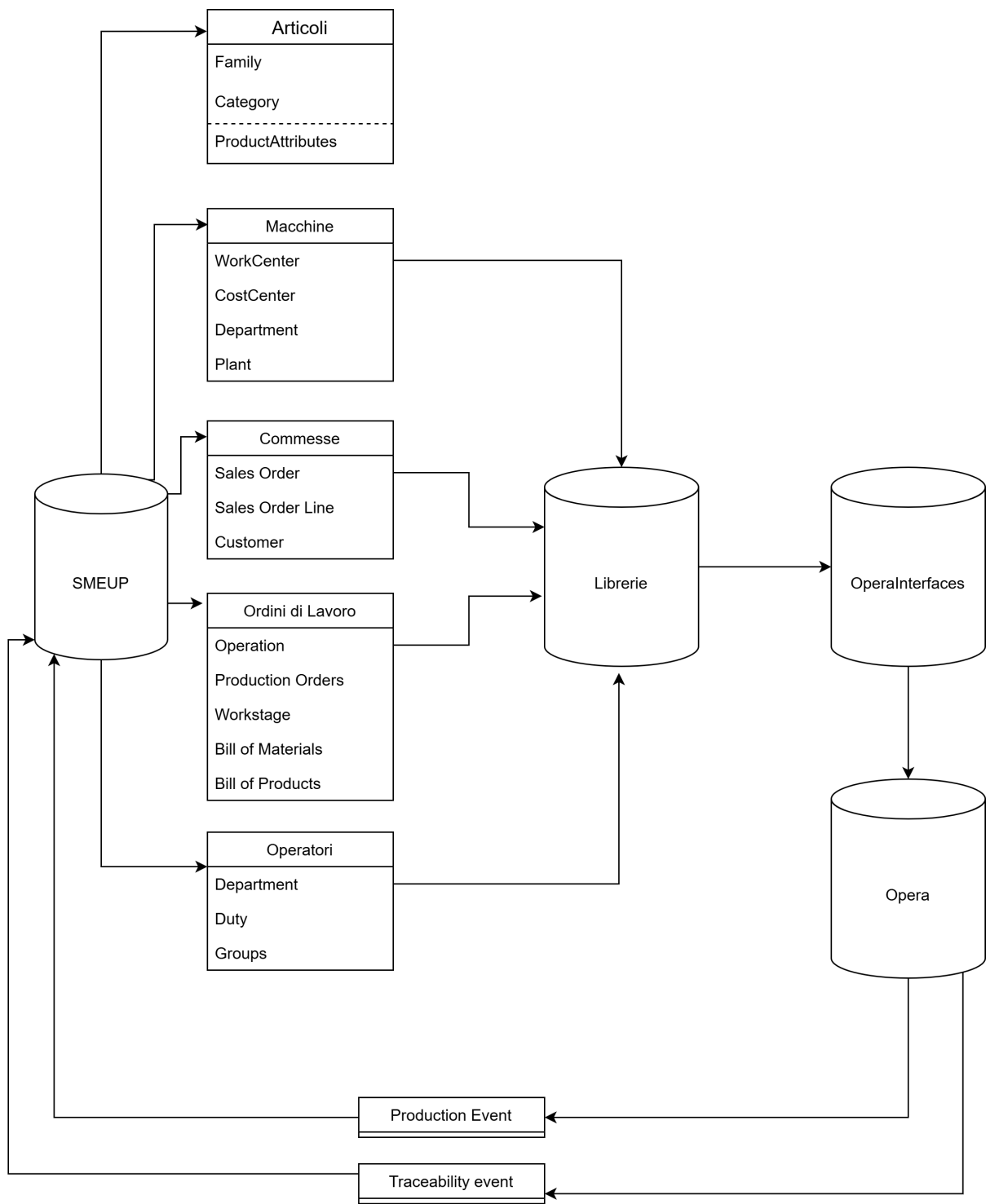


Figura 5.1: Diagramma dei flussi informativi per l'integrazione di SMEUP e OperaMES.

5.2 Soluzione applicativa per la generazione automatica delle missioni produttive

5.2.1 Obiettivi e architettura della soluzione

Il presente capitolo descrive la soluzione applicativa sviluppata per implementare operativamente il modello to-be definito nel capitolo precedente. In particolare, viene illustrata l'architettura logica e funzionale della procedura progettata per automatizzare la generazione delle missioni logistiche a supporto del piano di produzione. La soluzione realizzata implementa le azioni individuate nell'analisi progettuale. In primo luogo, l'automazione della picking list, con generazione automatica degli ordini di trasferimento, che consente di superare l'utilizzo di fogli Excel e/o documenti cartacei. La soluzione prevede inoltre l'introduzione di parametri di ottimizzazione logistica (superficie della locazione a bordo macchina, volume dell'articolo composto e lead time logistico), differenziati per lavorazioni automatiche e manuali. Tali parametri permettono di migliorare la sincronizzazione e l'affidabilità del rifornimento dei materiali. Al salvataggio del piano produttivo programmato la procedura genera tutti gli ordini di trasferimento necessari per soddisfare la richiesta di materiale per eseguire i task.

Selezione dei task schedulati

All'inizio della procedura vengono raccolte le informazioni necessarie alla generazione delle missioni logistiche. In particolare vengono acquisiti l'identificativo del pianificato, il codice della macchina assegnata, il codice dell'articolo da produrre e la quantità prevista dalla lavorazione.

In questa fase viene inoltre effettuato un filtraggio della tabella dei pianificati, per individuare esclusivamente i task per i quali è necessario generare le missioni di trasporto destinate alla distribuzione del materiale per la produzione a bordo macchina.. Lo schedulatore fornisce unicamente le fasi di lavorazione afferenti a un determinato reparto, consentendo al capo reparto di effettuare una schedulazione di dettaglio delle attività operative di propria competenza su un arco temporale definito. Tale intervallo viene stabilito in base alle esigenze operative del reparto, consentendo di adattare la pianificazione complessiva delle operazioni dello stabilimento alle condizioni locali, ad esempio assenze impreviste, guasti macchina o manutenzioni non pianificate.

L'Unità Logistica di Produzione (ULP)

Con l'utilizzo del modulo materiali dello schedulatore è possibile considerare la disponibilità dei materiali durante la pianificazione vincolando la programmazione alla loro effettiva presenza. Per affrontare le criticità legate all'approvvigionamento e allo spazio disponibile nelle postazioni di lavoro viene utilizzato un parametro specifico per la gestione del materiale a bordo macchina: l'Unità Logistica di Produzione (ULP).

La stima dell'ULP è effettuata dall'operatore, che sulla base della conoscenza dell'ingombro dei materiali necessari per la lavorazione, è in grado di valutare la quantità massima di articoli finiti producibili in funzione dello spazio disponibile presso una specifica macchina.

Questo parametro consente di integrare nella pianificazione un vincolo operativo legato allo spazio fisico disponibile a bordo macchina, semplificando l'utilizzo del modulo materiali di OperaMES, e fruendo dell'esperienza degli operatori nella gestione del flusso produttivo (fig. 5.2).

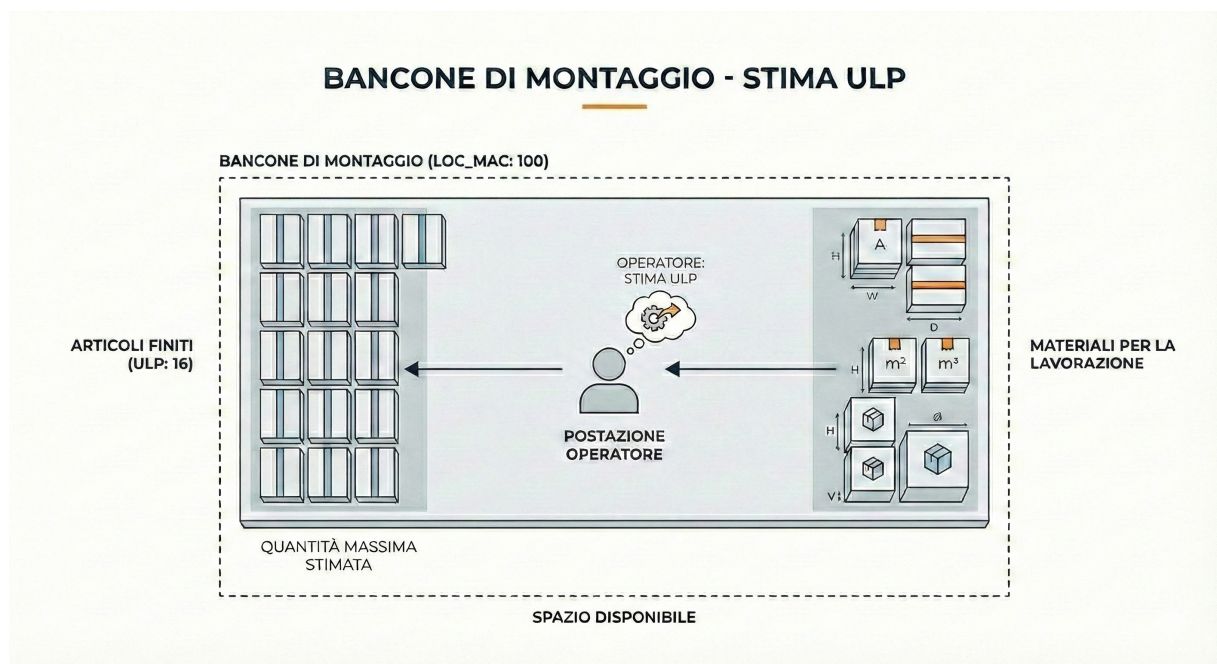


Figura 5.2: Rappresentazione schematica della stima del parametro ULP a bordo macchina. Il valore di 16 articoli ($ULP = 16$) finiti rappresenta l'output massimo consentito dai componenti stoccabili presso la postazione.

Tipizzazione delle locazioni

Nell'ambito del progetto è stata inoltre introdotta la tipizzazione delle locazioni, con l'obiettivo di migliorare l'organizzazione e la gestione logica del magazzino. A ciascuna

locazione è stato assegnato un tipo specifico, in funzione della sua destinazione d'uso, permettendo così una gestione più strutturata e coerente dei flussi materiali. In particolare, sono state individuate:

- locazioni di tipo macchina, associate direttamente alle postazioni produttive;
- locazioni di transito, dedicate ai carrelli o muletti per la movimentazione della merce;
- locazioni per prodotti finiti, semilavorati o materie prime;
- locazioni dedicate ai materiali in quarantena, destinate ai componenti in attesa di ispezione o validazione qualitativa.

Questa classificazione consente di migliorare la tracciabilità dei materiali, ridurre gli errori di stoccaggio, vincolare correttamente le operazioni di movimentazione e supportare una gestione più efficiente del magazzino.

5.3 Gestione delle missioni logistiche a supporto del piano di produzione

La procedura sviluppata implementa un meccanismo di allineamento tra la pianificazione della produzione e i flussi logistici di approvvigionamento a bordo macchina, con l'obiettivo di mantenere la coerenza tra le attività programmate e la movimentazione fisica dei materiali. Tale allineamento risulta particolarmente rilevante in presenza di rischedulazioni operate dal capo reparto, che possono comportare variazioni nei parametri del piano produttivo, ad esempio nella macchina assegnata al pianificato.

Per facilitare la corretta generazione delle missioni logistiche ed evitare l'utilizzo di dati obsoleti, la procedura non prevede l'aggiornamento diretto delle missioni già esistenti. Vengono invece eliminate tutte le missioni logistiche associate ai task pianificati che non risultano ancora avviate o concluse, ovvero quelle che non si trovano nello stato in esecuzione. Questa operazione consente di prevenire incongruenze tra il piano aggiornato e gli ordini di movimentazione già presenti nel sistema, assicurando che le successive elaborazioni si basino esclusivamente su informazioni coerenti e aggiornate.

5.3.1 Procedura di reso o trasferimento merce

La procedura di reso o trasferimento della merce viene attivata quando un task viene rischedulato su una macchina differente da quella originariamente assegnata. Prima di

generare qualsiasi missione d’approvvigionamento, il sistema verifica la presenza di missioni pregresse associate al task in esame tramite la tabella dei legami tra entità. Vengono considerate esclusivamente le missioni ancora in corso, ovvero non completamente evase.

Il comportamento del sistema varia in funzione della scelta del capo reparto se attivare o meno il flag di generazione delle missioni, come mostrato in figura 5.3:

- flag = 0: il sistema non genera alcuna missione di reso al magazzino nè di trasferimento verso una nuova macchina;
- flag = 1: viene generata una missione di reso verso il magazzino per ogni componente presente a bordo macchina che sia incluso nella distinta di prelievo dell’articolo da lavorare e non gestito a kanban. Per ciascun componente individuato viene calcolata la quantità di cui fare il reso:

$$q_{rientro} = \min\left(\sum q_{giacenza \text{ in locazione}}, \text{ULP} \times f_{distinta}\right) \quad (5.1)$$

dove $f_{distinta}$ indica il fattore di consumo del componente previsto nella distinta di prelievo, mentre $\sum q_{giacenza \text{ in locazione}}$ rappresenta il totale delle quantità residue del componente presenti nella locazione associata alla macchina di origine;

- flag = 2: il sistema genera due missioni distinte in sequenza. La prima movimentata il materiale dalla macchina originaria alla nuova macchina assegnata, applicando la stessa logica di calcolo per il reso al magazzino. La seconda missione, di tipo complementare, copre gli ordini di movimentazione associati alla missione trasferita che non risultano ancora evasi, verificando lo stato dei singoli ODT e prelevando i componenti mancanti dal magazzino per trasferirli alla nuova macchina.

Trattandosi di missioni di reso o trasferimento generate in via straordinaria, il livello d’urgenza viene impostato a 10, al fine di indicare ai magazzinieri di intervenire rapidamente sul materiale presente nella macchina non più utilizzata.

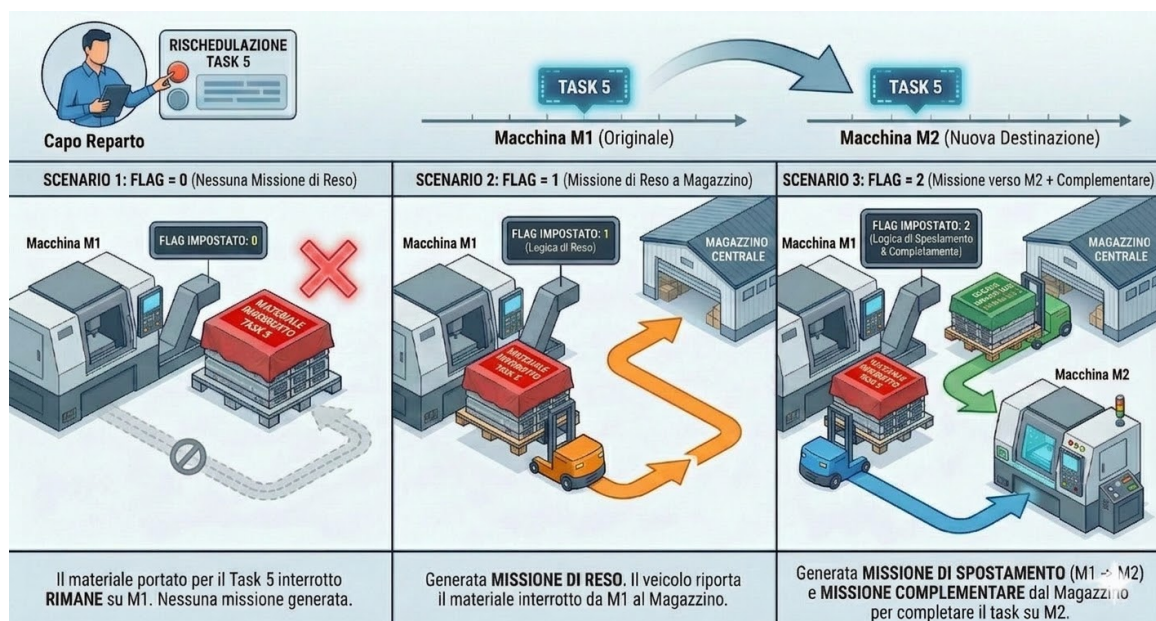


Figura 5.3: L'infografica illustra le tre strategie adottate dall'algoritmo in caso di cambio macchina (M1 → M2): nessuna azione (flag 0), reso a magazzino (flag 1) e reindirizzamento verso la nuova risorsa con integrazione (flag 2).

5.3.2 Generazione delle missioni di trasporto a bordo macchina

Nella generazione della missione di approvvigionamento vengono considerati alcuni fattori legati all'Unità Logica di Produzione, e sulla base dei quali può essere eseguito un calcolo ricorsivo. Qualora l'ULP risulti inferiore alla quantità totale da produrre, la missione viene suddivisa in più missioni consecutive. Questa scomposizione tiene conto della durata del ciclo di produzione, garantendo una pianificazione coerente con l'effettivo ritmo di consumo della linea e compatibile con i vincoli di spazio e con i tempi tecnici di movimentazione.

La prima missione così generata viene pianificata considerando sia i tempi di attrezzaggio sia i tempi macchina, mentre le missioni successive partono dalla fine della precedente e includono esclusivamente il tempo di lavorazione, in modo che la procedura restituisca una pianificazione che rispecchi il reale flusso produttivo.

Ad ogni missione viene assegnato un codice univoco ed eredita la priorità dalla commessa cliente, così da preservare eventuali condizioni di urgenza. Per ogni missione generata vengono create tante righe di missione quanti sono gli articoli presenti nella distinta di prelievo. A cascata vengono generati i relativi ordini di trasferimento (ODT), garantendo la tracciabilità tra pianificazione produttiva e movimentazioni logistiche (fig. 5.4).

🏠 Home 📁 Missioni 📁 Ordini di movim... 📁 Distinta prelievo +							
Distinta prelievo ☆							
Drag a column header here to group by that column							
☐	Lavoro	Articolo	Descr. Articolo	Operazione	Descr. operazione	Qtà. prevista	
	🔍	🔍	🔍	🔍	🔍	🔍	
	169990	00000640	Scatolone 37x24x24	0130	MONTAGGIO AUTOMATICO	0.01	
	169990	00000759	Scatola aut. 22,5x11x6x5	0130	MONTAGGIO AUTOMATICO	0.1	
	169990	00000994	Int.scat 21,8x10,5 Mon.Sanit-titaf	0130	MONTAGGIO AUTOMATICO	0.1	
	169990	00428004	ESAGONO RBM RAME 1/2	0130	MONTAGGIO AUTOMATICO	1	
	169990	00429003	GRUPPO SFERICO RAME 1/2	0130	MONTAGGIO AUTOMATICO	1	
	169990	01302004	Ghiera ferma valvolino detent. jet	0130	MONTAGGIO AUTOMATICO	1	
	169990	01311004	CORPO ANGOLO A.F. JET-LINE 1/2	0130	MONTAGGIO AUTOMATICO	1	
	169990	03511005	Cappuccio Bianco Jet-Line	0130	MONTAGGIO AUTOMATICO	1	
	169990	04692003	GR.OTTURAT.JET-LINE X FORO MAGGIOR.	0130	MONTAGGIO AUTOMATICO	1	

Figura 5.4: La distinta prelievo del lavoro numero 169990.

La data di inizio prevista di ciascuna missione viene calcolata a partire dalla data di inizio attrezzaggio del task, anticipata di un lead time logistico necessario ai magazzinieri per la preparazione del materiale. La data di consegna, invece, coincide con la data di attrezzaggio e non con l'inizio effettivo della produzione, permettendo agli attrezzisti di effettuare prove e test sulla macchina.

L'obiettivo è garantire che il materiale sia fisicamente presente a bordo macchina prima che inizi l'attrezzaggio, considerando i turni di lavoro definiti dal calendario del reparto, eliminando i tempi morti causati dalla logistica. A questo scopo vengono applicate le seguenti logiche::

- sincronizzazione con l'attrezzaggio: la data di consegna della missione coincide con l'inizio del turno di attrezzaggio. Se la data calcolata cade in un turno non lavorativo (es. weekend o festivi), la scadenza viene anticipata alla fine dell'ultimo turno utile;
- garanzia di continuità: se un task è previsto per l'inizio del primo turno (ad esempio del lunedì alle ore 06:00), la missione ma viene retrodatata al turno di completamento utile precedente (ad esempio il turno pomeridiano del venerdì).

Per alcuni articoli la procedura prevede la definizione di un lotto minimo di picking. In questi casi il prelievo non avviene per singola unità, ma per quantità standardizzate. In questo modo si evita che il magazziniere debba contare manualmente ogni pezzo, riducendo i tempi operativi e semplificando le attività di prelievo. Durante la generazione

delle missioni e dei relativi ODT, se la quantità teorica calcolata risulta inferiore a tale soglia, essa viene automaticamente adeguata al valore minimo consentito. In questo modo le missioni generate sono coerenti sia dal punto di vista produttivo, che dal punto di vista logistico (fig. 5.5).

ol_stato_color	Ordine	Articolo	Descr. articolo	Quantità	Locazione	Descr. stato ordi
○	ODT000387	00000640	Scatolone 37x24x24	50	LOC_564	Eseguibile
○	ODT000388	00000759	Scatola aut. 22,5x11x6x5	500	LOC_564	Eseguibile
○	ODT000389	00000994	Int.scata 21,8x10,5 Mon.Sanit-titaf	500	LOC_564	Eseguibile
●	ODT000381	00428004	ESAGONO RBM RAME 1/2	5000	LOC_564	Chiuso
○	ODT000385	00429003	GRUPPO SFERICO RAME 1/2	5000	LOC_564	Eseguibile
●	ODT000382	01302004	Ghiera ferma valvolino detent. jet	5000	LOC_564	Chiuso
●	ODT000386	01311004	CORPO ANGOLO A.F. JET-LINE 1/2	5000	LOC_564	In esecuzione
○	ODT000384	03511005	Cappuccio Bianco Jet-Line	5000	LOC_564	Eseguibile
○	ODT000383	04692003	GR.OTTURAT.JET-LINE X FORO MAGGIOR.	5000	LOC_564	Eseguibile

Figura 5.5: Schermata di OperaMES che mostra gli ODT relativi alla missione MIS000045, associate al task 169990, generate sulla base dei dati riportati nella distinta di prelievo illustrata in figura 5.4.

5.3.3 Modifiche implementate in Opera

Nell'ambito dell'implementazione della nuova funzionalità in Opera, è stato progettato un insieme di modifiche orientate all'utilizzatore finale, con l'obiettivo di integrare la generazione automatica delle missioni di approvvigionamento senza introdurre nuovi moduli strutturali, ma valorizzando esclusivamente oggetti e componenti già presenti all'interno del sistema. L'intervento si è concentrato sia sul livello di configurazione dello schedatore sia sulla revisione dei workflow operativi gestiti dal Workflow Manager.

Dal punto di vista del capo reparto, la principale novità riguarda la fase di salvataggio dello schedatore. A valle della pianificazione dei task produttivi, il sistema rende ora disponibile un nuovo pulsante che consente la generazione automatica delle missioni di approvvigionamento necessarie all'esecuzione delle attività schedate. Nelle impostazioni dello schedatore è stato introdotto un flag dedicato alla gestione delle missioni in caso di rischedulazione (fig. 5.6). Questo parametro permette di definire il comportamento del sistema quando il capo reparto modifica una pianificazione già salvata, stabilendo se le missioni precedentemente generate debbano essere rigenerate, mantenute o aggiornate.

Tale scelta progettuale garantisce maggiore controllo e flessibilità, evitando duplicazioni o incoerenze nei flussi logistici a seguito di variazioni nella pianificazione della produzione.

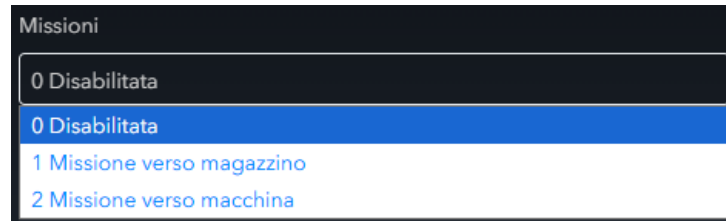


Figura 5.6: Interfaccia di selezione per la gestione delle movimentazioni del materiale in caso di rischedulazione.

Le modifiche hanno interessato anche i workflow di inizio e fine attività presenti nel Workflow Manager, che sono stati adattati per supportare in modo strutturato il ruolo del magazziniere nel nuovo processo. La personalizzazione di questi due workflow ha permesso di dotare OperaMES di una funzionalità prima assente: la registrazione esplicita dell'inizio e della fine delle attività logistiche associate agli ODT. In precedenza il sistema si limitava a registrare l'esito del movimento, ovvero che il materiale era stato spostato, senza tracciarne la durata né il momento di presa in carico. Questa evoluzione rappresenta un ulteriore avvicinamento di Opera MES verso una logica operativa di tipo Warehouse Management System (WMS), in cui la movimentazione fisica dei materiali non è solo rendicontata, ma anche pianificata, assegnata e monitorata nel tempo.

Configurazione della matrice di autosospensione

La matrice di autosospensione di OperaMES definisce il comportamento del sistema quando un operatore avvia una nuova azione mentre ne ha già una in corso. I possibili comportamenti sono i seguenti:

- 0 - la nuova azione sostituisce quella in corso, terminandola automaticamente;
- 1 - l'operazione viene bloccata e mostra un messaggio di errore, obbligando l'operatore a chiudere prima l'attività attiva;
- 2 - il sistema consente di eseguire entrambe le azioni contemporaneamente.

Per i mezzi di approvvigionamento è stato impostato il valore 2 sulle attività di movimentazione diretta, consentendo al magazziniere di tenere aperte più fasi contemporaneamente durante lo stesso giro di prelievo. In questo modo, all'interno del workflow, è possibile prendere in carico e chiudere più ordini di trasferimento in un'unica sessione operativa,

senza che il sistema blocchi l'esecuzione per la presenza di attività già attive sul medesimo mezzo.

WorkFlow – Inizio Movimentazione

L'operatore si identifica e seleziona il mezzo di movimentazione che utilizzerà (fig. 5.7). Il sistema mostra l'elenco di tutti gli ordini di trasferimento eseguibili, ordinati prima per priorità e poi per data di fine prevista (fig. 5.8). Per ciascun ordine selezionato, l'operatore sceglie l'UDM da cui prelevare il materiale e viene visualizzata la quantità da prelevare (fig. 5.9). Il sistema registra il prelievo, l'azione compiuta e sposta la UDM presso la locazione associata al mezzo di trasporto selezionato dall'operatore, tracciandone il movimento. Viene inoltre aggiornato il pianificato associato all'ordine di trasferimento selezionato con il mezzo che ha preso in carico il task.

L'operatore può ripetere il workflow e prendere in carico più ODT, continuando a effettuare prelievi fino al raggiungimento della capacità massima del mezzo di movimentazione. Una volta raggiunta tale capacità, l'operatore interrompe la fase di prelievo e procede con la consegna dei componenti alle macchine o alle destinazioni previste, completando così il ciclo operativo prima di poter prendere in carico nuovi ordini di trasferimento.

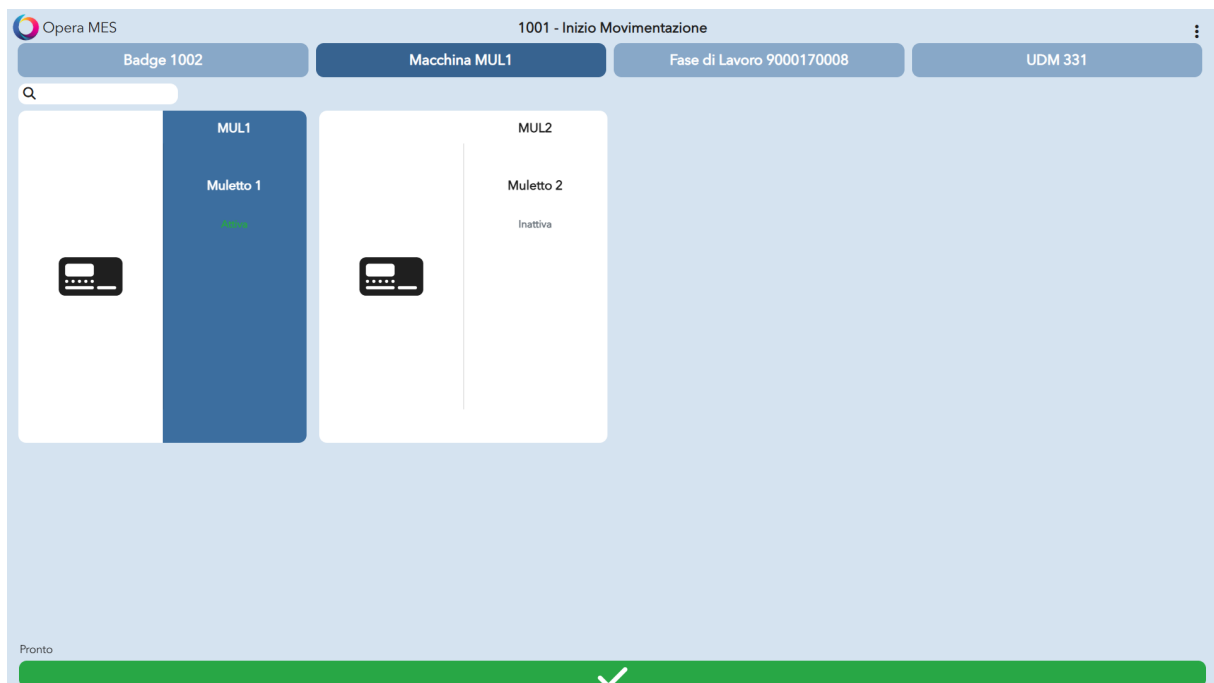


Figura 5.7: Dettaglio della selezione del mezzo per la movimentazione della merce nel WF di Inizio Movimentazione.

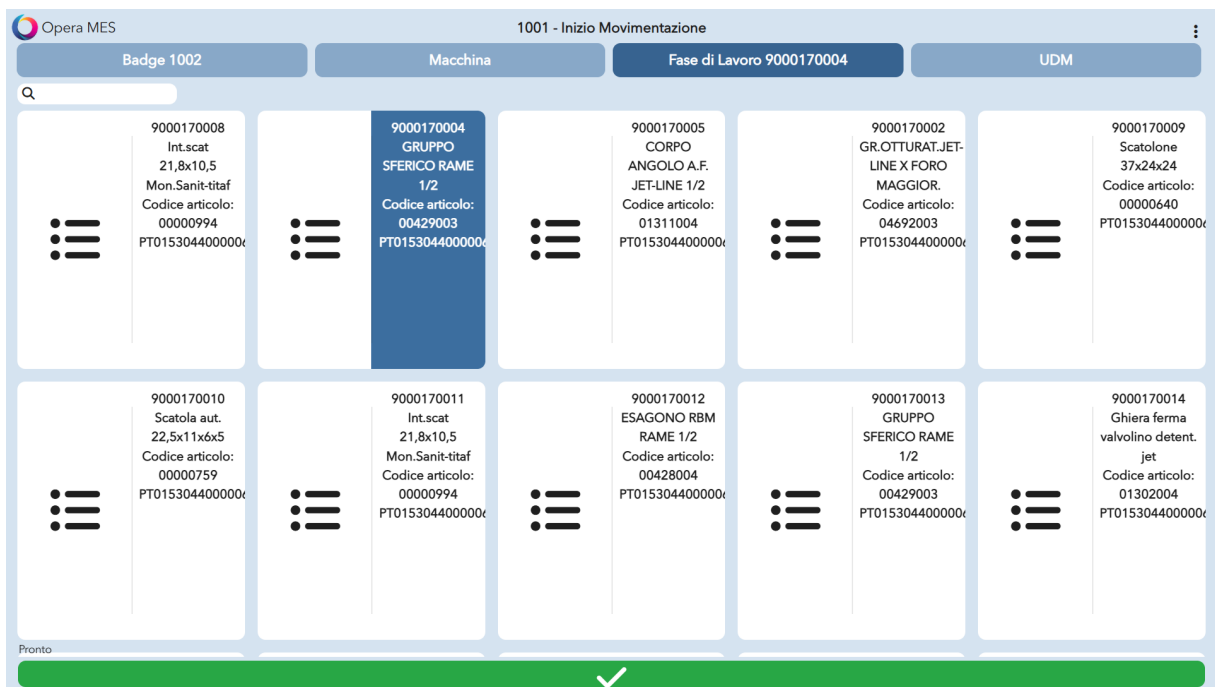


Figura 5.8: Dettaglio dell'ordine di trasferimento preso in carico dal magazziniere. Nei singoli riquadri superiore sono riportati il codice fase associato in OperaMES, la descrizione e il codice dell'articolo, oltre al codice della missione di approvvigionamento collegata.

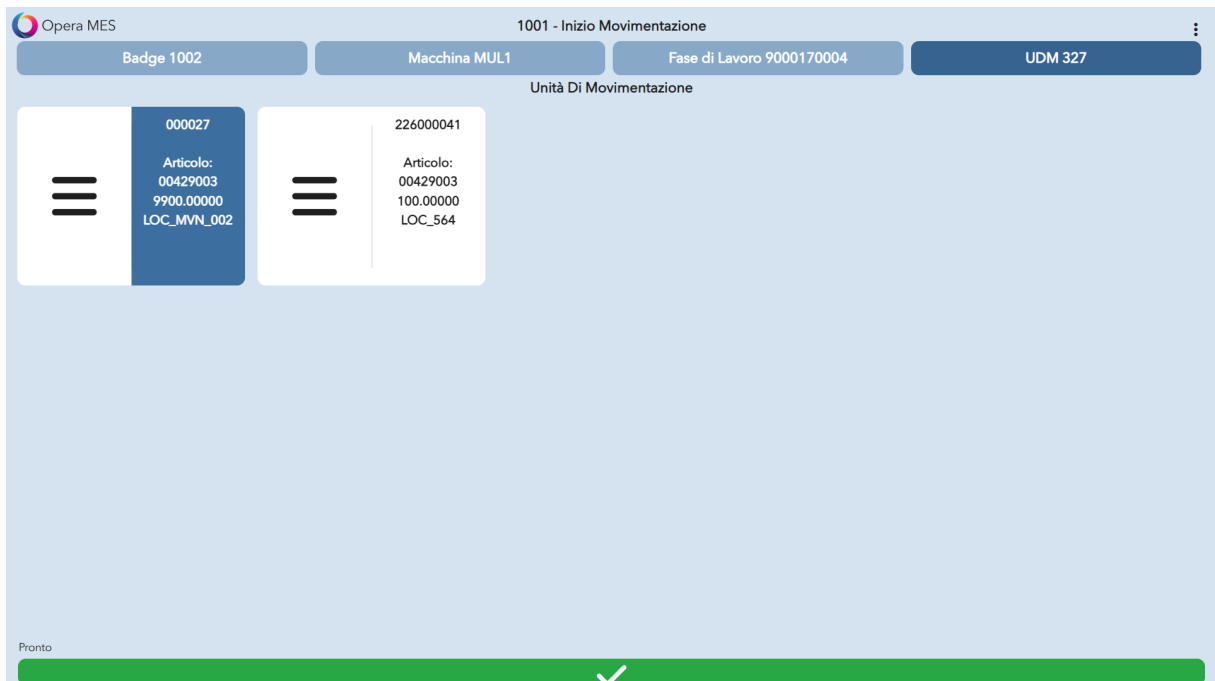


Figura 5.9: Dettaglio della selezione dell'UDM da cui prelevare il materiale, filtrata in base alla tipologia di locazione. Sono escluse le locazioni di tipo macchina, quarantena e transito, salvo nel caso di movimentazione tra macchine. Nel riquadro sono visualizzati il codice UDM, l'articolo, la quantità disponibile e la locazione corrente.

WorkFlow – Sospensione/fine movimentazione

Una volta raccolto il materiale, l'operatore esegue il workflow di consegna merce. In questa fase indica la locazione in cui si trova fisicamente in quel momento; il sistema mostra solo le destinazioni coerenti con i task prese in carico su quel mezzo di movimentazione. Seleziona gli ODT da concludere tra quelli che avevano quella locazione come destinazione. Prima della conferma, il sistema verifica che sia stata indicata una causale: se assente, l'operazione viene bloccata e visualizzato un messaggio di errore. Una volta confermata l'operazione, il sistema sposta le UDM dalla locazione associata al mezzo alla locazione di destinazione, registra il movimento e chiude le fasi completate.

Creazione tabella legami entità

Al fine di garantire la corretta associazione tra il singolo task operativo e la missione generata, è stata progettata e implementata all'interno di OperaMES una specifica tabella dei legami. La tabella raccoglie e formalizza tutti i possibili legami tra le entità del software, memorizzando per ciascuna relazione l'identificativo dell'oggetto sorgente e dell'oggetto destinazione, la tipologia delle entità coinvolte e la natura del legame che le connette, specificandone anche il livello gerarchico. In questo modo è possibile rappresentare in maniera strutturata le relazioni le diverse classi di oggetti gestiti (missioni, task e ulteriori oggetti operativi), mantenendo una chiara distinzione tra le diverse tipologie di connessione logica e funzionale.

5.4 Criticità e possibili implementazioni

5.4.1 Criticità del progetto

La soluzione proposta rappresenta un primo prototipo evolutivo orientato all'integrazione tra pianificazione produttiva e flussi logistici di reparto. Proprio la sua natura prototipale, focalizzata sull'orchestrazione di poche macchine alla volta, consente di circoscrivere il perimetro applicativo, ma al tempo stesso evidenzia alcune criticità strutturali che meritano di essere esplicitate.

Una prima area riguarda la qualità e la stabilità dei parametri introdotti, in particolare l'Unità Logistica di Produzione. Il valore dell'ULP è stimato dall'operatore sulla base della conoscenza dello spazio disponibile a bordo macchina e dell'ingombro dei componenti. Questa scelta valorizza il know-how operativo, ma introduce una componente soggettiva che può influenzare il numero e la dimensione delle missioni generate. Per

evitare ricalcoli complessi e possibili incoerenze nelle giacenze, è stato definito un vincolo applicativo: l'ULP può essere modificata solo nel caso in cui tutte le missioni associate a quell'articolo risultino nello stato chiuse. In presenza di missioni ancora aperte, infatti, un aggiornamento del parametro comporterebbe un ricalcolo oneroso delle quantità già allocate e delle giacenze residue, con un impatto computazionale e gestionale eccessivo rispetto ai benefici attesi.

Un secondo elemento critico riguarda la gestione dei tempi logistici. Il lead time introdotto nel calcolo delle date di inizio missione rappresenta una prima stima dei tempi necessari ai magazzinieri per la preparazione e il trasporto del materiale. Si tratta tuttavia di un valore inizialmente parametrico, utile a garantire coerenza temporale tra approvvigionamento e attrezzaggio, ma non ancora basato su dati storici consolidati. L'architettura della soluzione prevede che tale valore possa essere progressivamente affinato attraverso l'analisi dei tempi effettivamente registrati a sistema durante l'esecuzione delle missioni, consentendo un allineamento più aderente alla realtà operativa del reparto.

Un'ulteriore criticità è legata alla dipendenza dalla qualità dei dati di base, quali distinte di prelievo, giacenze e corretta associazione delle locazioni alle macchine. Il meccanismo automatico di generazione delle missioni presuppone coerenza tra dato informativo e situazione fisica; eventuali disallineamenti possono tradursi in missioni parzialmente eseguibili o in necessità di interventi correttivi manuali.

Infine, per quanto concerne la scalabilità, è opportuno precisare che la soluzione non nasce come sistema completo di gestione centralizzata del magazzino, ma come strumento di supporto alla logistica di reparto. La limitazione a un numero contenuto di macchine e a un contesto operativo circoscritto riduce la complessità sistemica e rende sostenibile l'attuale architettura. In tale prospettiva, quella che potrebbe apparire come una criticità in contesti multi-stabilimento o ad alta numerosità di risorse risulta, nel perimetro progettuale definito, una scelta consapevole e coerente con gli obiettivi del prototipo.

Nel complesso, le criticità individuate non compromettono la validità della soluzione, ma ne delimitano l'ambito applicativo e ne indicano le principali direttrici evolutive, in particolare in termini di progressiva stabilizzazione dei parametri e miglioramento della qualità dei dati operativi.

5.4.2 Possibili sviluppi

La soluzione proposta può essere considerata un primo prototipo evolutivo di OperaMES verso funzionalità tipiche di un Warehouse Management System, ovvero un sistema informativo dedicato alla gestione operativa del magazzino, responsabile del controllo dei

flussi fisici, delle ubicazioni, delle missioni di prelievo e stoccaggio e dell'ottimizzazione delle attività logistiche.

In questa prospettiva, le missioni generate a valle della schedulazione produttiva potrebbero essere ulteriormente evolute introducendo una vera e propria schedulazione logistica, basata su algoritmi specifici di ottimizzazione, quali ad esempio algoritmi di shortest path, logiche di Vehicle Routing Problem (VRP) o criteri di batching delle missioni per area o priorità. Questo permetterebbe di superare una gestione puramente sequenziale delle attività, orientandosi verso una pianificazione dinamica dei flussi di movimentazione interna.

Un ulteriore sviluppo potrebbe riguardare l'aggiornamento progressivo dei tempi di approvvigionamento e dei lead time logistici sulla base dei dati reali registrati alla chiusura delle attività da parte dei magazzinieri. Attualmente, tali tempi sono stimati prevalentemente in funzione delle distanze tra le locazioni e delle velocità medie di movimentazione; integrando queste informazioni con tempi effettivi consuntivati, il sistema potrebbe affinare progressivamente le proprie stime, rendendole maggiormente aderenti al comportamento reale del reparto logistico.

Inoltre, analizzando la frequenza dei rifornimenti e i percorsi effettivamente compiuti dai magazzinieri, il sistema potrebbe individuare pattern ricorrenti, come articoli ad alta rotazione o combinazioni di prelievo frequenti, e suggerire automaticamente locazioni preferenziali in funzione del numero di prelievi registrati e della prossimità al reparto di montaggio. Questo consentirebbe un'evoluzione verso una logica adattiva, in cui la disposizione delle merci non è statica ma viene ottimizzata sulla base dei dati storici di utilizzo.

In tale prospettiva, l'analisi sistematica di tutti i dati storici di movimentazione, prelievo e rifornimento all'interno di un sistema di Intelligenza Artificiale consentirebbe di estendere ulteriormente il livello di ottimizzazione. Attraverso algoritmi di apprendimento automatico, il sistema potrebbe individuare correlazioni complesse e dinamiche non immediatamente evidenti, supportando decisioni predittive in ambito di allocazione delle scorte, pianificazione dei rifornimenti e configurazione delle locazioni.

Capitolo 6

Procedure di generazione delle missioni

6.1 Logica applicativa e struttura delle procedure

Il sistema di generazione delle missioni è implementato attraverso quattro procedure principali che collaborano in sequenza:

- Gestione Pianificati, in cui vengono raccolti e filtrati i task in funzione del loro stato di esecuzione;
- Genera Missioni, che inserisce nel database i dati relativi alle missioni;
- Elimina Missioni, che rimuove le missioni obsolete in caso di rischedulazione;
- Genera Missioni di Rientro, che gestisce i casi di cambio macchina con materiale già prelevato.

Ciascuna procedura comunica con le altre attraverso tabelle temporanee condivise, dichiarate all'inizio dell'esecuzione e visibili per tutta la durata della transazione.

6.1.1 Gestione Pianificati

La procedura Gestione Pianificati rappresenta il punto di ingresso dell'intero processo e richiama le procedure successive in funzione dello stato dei pianificati fornito dallo schedulatore.

In caso di errore, viene eseguita un'operazione di rollback, ovvero l' annullamento di tutte le modifiche apportate al database dall'inizio della transazione, attraverso una

procedura dedicata (CATCH). Poiché la generazione di una missione comporta scritture su numerose tabelle, questo meccanismo assicura che un'interruzione parziale non lasci il database in uno stato inconsistente.

Lo stato condiviso tra le diverse fasi è mantenuto in quattro tabelle temporanee: `#PianificatiSkd` che raccoglie i pianificati da processare; `#MissioniDaEliminare` che contiene i codici delle missioni da rimuovere prima di procedere alla generazione; `#MissioniRientro` per tracciare le missioni coinvolte in un cambio di macchina con materiale già prelevato e quando il capo reparto ha impostato il flag diverso da zero (fig. 5.6); `#PianificatiSkd` tabella utilizzata per gestire i cambi macchina.

Per ciascun pianificato, la procedura verifica, tramite la tabella dei legami tra entità del database, se esiste già una missione associata a quel task e se la macchina attualmente assegnata coincide con quella delle missioni già generate. Il risultato di questo controllo viene registrato nel campo `macchina_cambiata` della tabella `#PianificatiSkd` (0 se la macchina è invariata, 1 se è cambiata).

Se esistono missioni collegate al pianificato, ma nessuna è diretta alla macchina corrente, il campo `macchina_cambiata` viene impostato a 1, determinando la logica di calcolo da applicare alle fasi successive (tab. 6.1).

6.1.2 Genera Missioni

La procedura `Genera Missioni` riceve i pianificati presenti in `#MissioniDaGenerare` e produce la scrittura coordinata di tutti gli oggetti necessari a comporre una missione nel database di `OperaMES`: la testata della missione viene caricata nella tabella `FCommesse` mentre le singole fasi vengono memorizzate nella tabella `Fasi`. Ulteriori tabelle che vengono modificate da questa procedura sono `RigheCommessa`, `OrdiniDiLavoro`, `Lavori`, `DistintaPrelievo` e `ProgressivoBolle`. Quest'ultima tiene traccia di tutti i passi eseguiti per monitorare l'avanzamento della fase .

Nel sistema `OperaMES` le missioni sono gestite allo stesso livello delle commesse e vengono memorizzate nella stessa tabella, `FCommesse`. La distinzione tra le due tipologie avviene tramite un codice numerico che identifica il tipo di record (nel caso delle missioni viene utilizzato il codice 06); questo consente di filtrare facilmente le differenti entità nelle interrogazioni del database. In modo analogo, anche gli ODT non sono gestiti come una struttura separata, ma corrispondono a specifici `OrdiniDiLavoro` identificati dal codice di tipo 04. Questa scelta progettuale permette di riutilizzare le stesse strutture dati per entità logicamente simili, semplificando il modello del database e riducendo la complessità del sistema.

Un parametro di configurazione DelayInizioODT, letto prima di ogni elaborazione contiene un valore espresso in ore, che viene sottratto alla data di inizio delle missioni permettendo così di anticipare la missione all'effettivo avvio della lavorazione. Quando la quantità da movimentare supera la capacità produttiva a bordo macchina, il fabbisogno dei componenti viene suddiviso in più missioni consecutive. Le date di ciascuna missione vengono quindi calcolate a partire da quella della precedente, producendo una catena temporale continua.

Per ogni articolo della distinta viene inoltre verificato il lotto minimo: se la quantità calcolata risultasse inferiore al minimo configurato nella tabella AttributiArticoli, essa viene automaticamente arrotondata al valore ammissibile (tab. 6.1).

6.1.3 Elimina Missioni

La procedura Elimina Missioni rimuove le missioni obsolete ricevute in input tramite #MissioniDaEliminare. Raccoglie nella tabella di appoggio #IdDaEliminare tutti gli identificativi degli oggetti da rimuovere, risalendo l'intera gerarchia da FCommesse fino a ProgressivoBolle.

La cancellazione avviene in ordine inverso rispetto alla creazione, garantendo in ogni momento il rispetto dei vincoli di integrità referenziale del database (tab. 6.1).

6.1.4 Genera Missioni di Rientro

La procedura Genera Missioni di Rientro viene invocata quando un cambio di macchina rende necessario gestire materiali già fisicamente consegnati alla macchina precedente. Il parametro flag ne determina il comportamento: il valore 1 genera una missione di rientro a magazzino, il valore 2 genera una missione di trasferimento verso la nuova macchina, accompagnata da una missione complementare che copre le righe della missione aperta non ancora completate.

La quantità da movimentare per ogni articolo viene calcolata a partire dalla giacenza residua disponibile nella locazione di origine, letta dalla tabella UDM, escludendo gli articoli senza giacenza e quelli gestiti a kanban. Al termine dell'elaborazione, le missioni aperte, ormai obsolete a seguito della rischedulazione, vengono chiuse tramite la procedura ChiudiCommesse (tab. 6.1).

Procedura	Ruolo	Operazioni principali
Gestione Pianificati	Orchestratore del flusso	Carica i pianificati, rileva il cambio macchina, calcola le quantità e coordina le chiamate alle procedure secondarie
Genera Missioni	Generazione oggetti nel database	Suddivide il fabbisogno di componenti in più missioni in funzione del parametro ULP
Elimina Missioni	Rimozione missioni obsolete	Raccoglie gli identificativi risalendo la gerarchia completa e li cancella in ordine inverso rispetto alla creazione
Genera Missioni Rientro	Gestione cambio macchina	Genera missioni di reso al magazzino o trasferimento verso la nuova macchina e chiude le missioni incomplete prima della rischedulazione

Tabella 6.1: Riepilogo delle procedure di generazione delle missioni.

Capitolo 7

Conclusioni e sviluppi futuri

Il lavoro di tesi ha affrontato le principali criticità rilevate nello stato as-is del caso aziendale. L'obiettivo è rendere le soluzioni adottate nel caso analizzato parte integrante del software applicativo, introducendo un modello d'integrazione avanzata tra la pianificazione produttiva e la logistica interna.

L'analisi preliminare ha evidenziato un contesto caratterizzato da una forte dipendenza da strumenti manuali, frammentazione informativa e disallineamento tra i sistemi in uso. La soluzione sviluppata si è concretizzata nella progettazione di un sistema prototipale per la generazione automatica delle missioni logistiche, integrato con i dati dell'ERP aziendale e orchestrato dal modulo materiali del MES. L'introduzione della creazione dinamica delle missioni di rifornimento ha così permesso di stabilire un meccanismo di allineamento strutturato tra le fasi di pianificazione e di approvvigionamento.

Sul piano realizzativo, il progetto di tesi ha contribuito al progresso del progetto su più livelli. L'integrazione tra l'ERP aziendale SMEUP e OperaMES è stata ridisegnata abbandonando il precedente scambio di file a favore di un database condiviso, che consente un aggiornamento dei dati in tempo reale in entrambe le direzioni. È stato introdotto il parametro ULP per governare la quantità di materiale gestibile a bordo macchina, e sulla base di questo è stata costruita la logica di generazione automatica delle missioni di approvvigionamento a partire dal piano produttivo. La procedura gestisce anche i cambi macchina, generando missioni di reso o trasferimento del materiale già consegnato. Le locazioni di magazzino sono state classificate per tipo, in modo da vincolare correttamente i movimenti, e i workflow del magazziniere sono stati adattati per supportare l'intero ciclo operativo, dalla presa in carico degli ordini di trasferimento fino alla consegna, tracciando per la prima volta i tempi di esecuzione delle attività logistiche.

È necessario precisare che lo studio si è concluso con la realizzazione e la validazione

tecnica del prototipo, senza tuttavia poter procedere alla sua piena messa in esercizio in ambiente produttivo. Di conseguenza, non è stato possibile osservare direttamente il comportamento del sistema in un contesto reale, né misurarne quantitativamente l'impatto sui KPI logistici e produttivi. Tale limitazione è conseguenza dei tempi di implementazione aziendale, il cui piano di progetto si estende ben oltre l'orizzonte temporale della presente tesi,. Tale verifica rappresenta la naturale fase successiva del progetto: solo un utilizzo continuativo permetterà di testare la robustezza delle logiche implementate, calibrare i parametri di sistema e valutare oggettivamente i benefici in termini di efficienza, riduzione degli errori e stabilità dei flussi.

La soluzione progettata presenta ulteriori margini di evoluzione. L'architettura è estendibile verso logiche più complesse, come la gestione centralizzata di componenti comuni a più ordini, l'ottimizzazione dei percorsi di picking o l'integrazione con sistemi di Warehouse Management (WMS) più strutturati. In quest'ottica, il prototipo si configura come un nucleo funzionale su cui sviluppare progressivamente un sistema di gestione logistica di reparto sempre più articolato. La possibilità di affinare i parametri logistici tramite l'analisi dei dati storici utilizzando anche strumenti di AI apre inoltre la strada a un miglioramento incrementale basato su evidenze quantitative.

In conclusione, il progetto evidenzia il ruolo strategico dei sistemi MES e, più in generale, delle piattaforme MOM (Manufacturing Operations Management) nelle moderne organizzazioni industriali. Tali sistemi non rappresentano soltanto strumenti di monitoraggio o raccolta dati, ma elementi di coordinamento dei flussi informativi e materiali che connettono pianificazione, produzione e logistica.

Appendice A

Listati delle procedure implementate

A.1 Listato della procedura di Gestione Pianificati

Di seguito viene mostrato il flow chart che riassume la logica della procedura Gestione Pianificati, di cui il listato è mostrato di seguito:

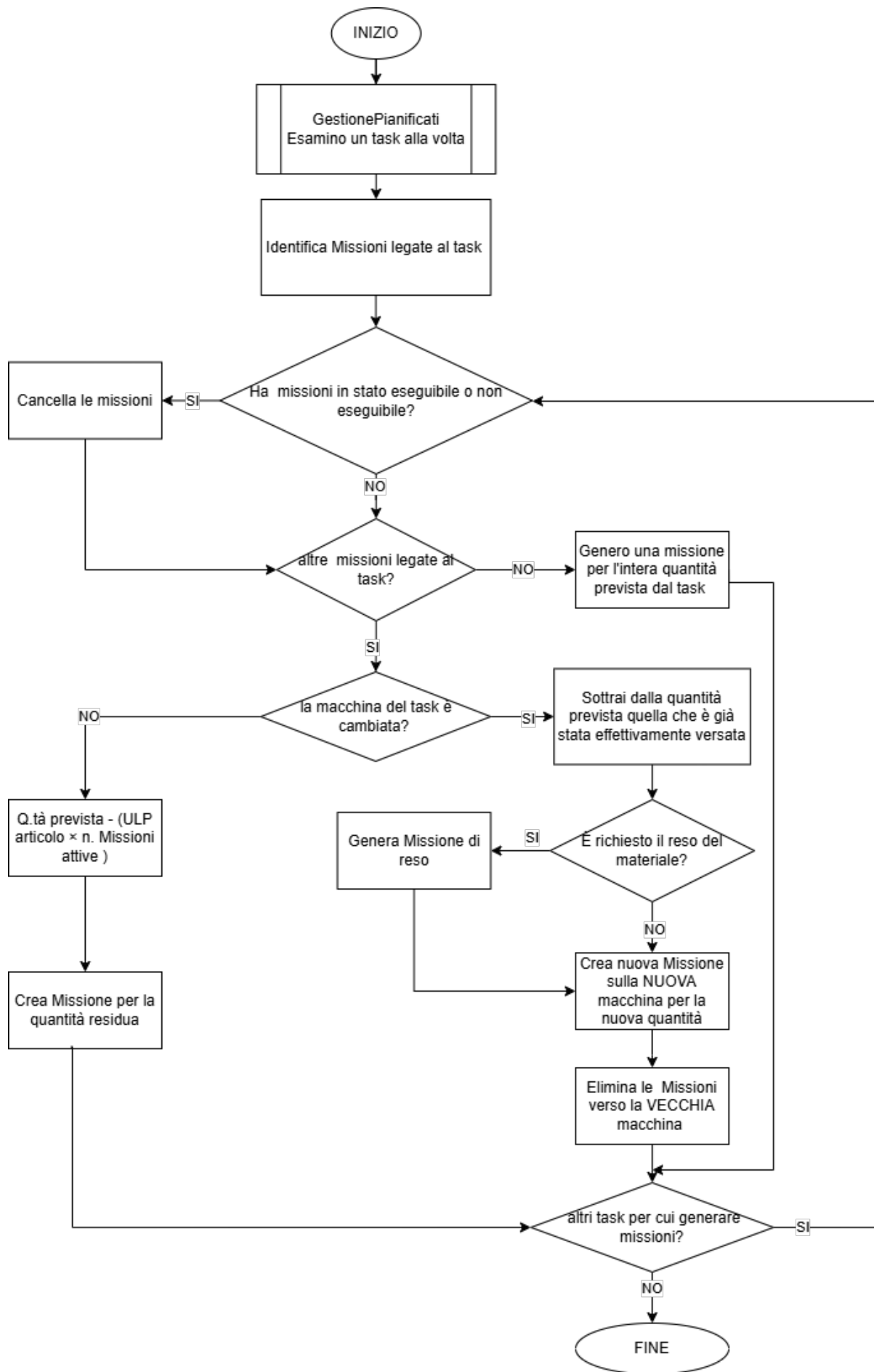


Figura A.1: Flowchart della logica di gestione delle missioni nel processo GestionePianificati.

```

1 ALTER PROCEDURE [dbo].[GestionePianificati]
2     -- @flag controlla se generare anche le missioni di rientro (resi):
3     @flag int
4 AS
5 BEGIN
6     SET NOCOUNT ON
7     SET XACT_ABORT ON
8
9     -- Tabella temporanea che raccoglie i pianificati rilevanti con le loro
10    -- quantita', la locazione di riferimento, e due campi calcolati:
11    -- macchina_cambiata e legami
12    CREATE TABLE #PianificatiSkd (
13        pi_id int,
14        obj_uid nvarchar(100),
15        ma_codice nvarchar(50),
16        pi_qntprv numeric(15,5),
17        al_ulp numeric(15,5),
18        qnt_versata numeric(15,5),
19        macchina_cambiata int default 0,
20        legami int,
21        Qta numeric(15,5)
22    );
23
24    -- Tabella temporanea che raccoglie le missioni da eliminare
25    -- (quelle ancora in stato iniziale/aperto associate ai pianificati correnti)
26    CREATE TABLE #MissioniDaEliminare (
27        co_codice nvarchar(50)
28    );
29
30    -- Tabella temporanea che raccoglie i pianificati per cui generare
31    -- nuove missioni, con la relativa quantita' calcolata
32    CREATE TABLE #MissioniDaGenerare (
33        pi_id int,
34        Qta numeric(15,5)
35    );
36
37    -- Tabella temporanea che raccoglie le missioni esistenti collegate a
38    -- pianificati con macchina cambiata, usata per la generazione dei resi
39    CREATE TABLE #MissioniResi (
40        co_codice nvarchar(50),
41        pi_id int,
42        obj_uid nvarchar(100)
43    );
44    BEGIN TRY
45        BEGIN TRANSACTION
46
47        -- =====
48        -- FASE 1: Caricamento dei pianificati
49        -- =====
50        INSERT INTO #PianificatiSkd
51            (pi_id, obj_uid, ma_codice, pi_qntprv, al_ulp, qnt_versata)
52        SELECT
53            P.pi_id,

```

```

54     P.obj_uid,
55     P.ma_codice,
56     P.pi_qntprv,
57     ISNULL(AL.al_ULP, 0)      AS al_ULP,
58     ISNULL(FA.fa_qntvrs, 0)
59 FROM     Pianificati      P (NOLOCK)
60 INNER JOIN Lavori        L (NOLOCK) ON P.la_id      = L.la_id
61 INNER JOIN OrdiniDiLavoro OL (NOLOCK) ON L.ol_codice = OL.ol_codice
62 INNER JOIN Articoli      AR (NOLOCK) ON AR.ar_codice = OL.ar_codice
63 LEFT  JOIN MacLocazioni  ML (NOLOCK) ON ML.ma_codice = P.ma_codice
64 LEFT  JOIN ArtLocazioni  AL (NOLOCK) ON AL.ar_codice = AR.ar_codice
65                                           AND ML.lo_codice = AL.lo_codice
66 INNER JOIN Fasi         FA (NOLOCK) ON FA.pi_id     = P.pi_id
67 WHERE P.ma_codice IS NOT NULL
68     AND OL.to_codice = '01';
69
70 -- =====
71 -- FASE 2: Rilevamento macchina cambiata
72 =====
73 UPDATE PS
74     SET macchina_cambiata = 1
75 FROM #PianificatiSkd PS
76 WHERE EXISTS (
77     SELECT 1
78     FROM Missioni MI (NOLOCK)
79     INNER JOIN LegamiEntita_custSanza LE (NOLOCK)
80         ON MI.obj_uid = LE.obj_uid_figlio
81     WHERE LE.obj_uid_padre = PS.obj_uid
82 )
83 AND NOT EXISTS (
84     SELECT 1
85     FROM Missioni MI (NOLOCK)
86     INNER JOIN LegamiEntita_custSanza LE (NOLOCK)
87         ON MI.obj_uid = LE.obj_uid_figlio
88     INNER JOIN RigheCommessa RC (NOLOCK)
89         ON RC.rc_cocodice = MI.co_codice
90     INNER JOIN OrdiniDiLavoro OL (NOLOCK)
91         ON OL.rc_id = RC.rc_id
92     INNER JOIN MacLocazioni ML (NOLOCK)
93         ON ML.lo_codice = OL.ol_mag
94     WHERE ML.ma_codice      = PS.ma_codice
95         AND LE.obj_uid_padre = PS.obj_uid
96 );
97
98 -- Debug: stato pianificati dopo caricamento
99 SELECT 'STEP1' AS fase, pi_id, ma_codice,
100     al_ulp, pi_qntprv, qnt_versata, macchina_cambiata
101 FROM #PianificatiSkd;
102 -- =====
103 -- FASE 3: Identificazione missioni da eliminare
104 =====
105 INSERT INTO #MissioniDaEliminare (co_codice)
106 SELECT MI.co_codice

```

```

107 FROM Missioni MI (NOLOCK)
108 INNER JOIN LegamiEntita_custSanza LE (NOLOCK)
109     ON LE.obj_uid_figlio = MI.obj_uid
110 INNER JOIN #PianificatiSkd PS (NOLOCK)
111     ON PS.obj_uid = LE.obj_uid_padre
112 WHERE dbo.GetStatoCommessa(MI.co_codice) IN ('00', '10');
113
114 -- Debug: missioni che verranno eliminate
115 SELECT 'STEP2' AS fase, co_codice
116 FROM #MissioniDaEliminare;
117
118 -- Se ci sono missioni da eliminare, esegue la procedura dedicata
119 IF EXISTS (SELECT 1 FROM #MissioniDaEliminare)
120     EXEC EliminaMissioniSanza_custR4;
121
122 -- =====
123 -- FASE 4: Calcolo del numero di legami per ogni pianificato
124 -- =====
125 UPDATE PS
126     SET legami = ISNULL(conta_legami, 0)
127 FROM #PianificatiSkd PS
128 LEFT JOIN (
129     SELECT     obj_uid_padre,
130                COUNT(*) AS conta_legami
131     FROM       LegamiEntita_custSanza (NOLOCK)
132     GROUP BY  obj_uid_padre
133 ) LE ON LE.obj_uid_padre = PS.obj_uid;
134
135 -- =====
136 -- FASE 5: Calcolo quantita' - macchina NON cambiata
137 -- =====
138 UPDATE P
139     SET P.Qta = CASE
140         WHEN P.al_ulp = 0                THEN NULL
141         WHEN P.al_ulp >= P.pi_qntprv    THEN NULL
142         ELSE P.pi_qntprv - (P.al_ulp * P.legami)
143     END
144 FROM #PianificatiSkd P
145 WHERE P.legami > 0
146     AND P.macchina_cambiata = 0;
147
148 -- Debug: legami e Qta dopo il primo calcolo
149 SELECT 'STEP3' AS fase, pi_id, ma_codice,
150        legami, macchina_cambiata, al_ulp, Qta
151 FROM #PianificatiSkd;
152
153 -- Inserisce nella coda i pianificati con macchina non cambiata
154 -- che hanno una quantita residua da generare (Qta non nulla)
155 INSERT INTO #MissioniDaGenerare (pi_id, Qta)
156 SELECT pi_id, Qta
157 FROM #PianificatiSkd
158 WHERE legami > 0
159     AND macchina_cambiata = 0

```

```

160         AND Qta IS NOT NULL;
161
162     -- Debug: giro 1
163     SELECT 'STEP4_giro1' AS fase, pi_id, Qta
164     FROM #MissioniDaGenerare;
165
166     -- GIRO 1: Genera le missioni per pianificati con macchina non cambiata
167     EXEC GeneraMissioniSanza_custR3;
168     TRUNCATE TABLE #MissioniDaGenerare;
169
170     -- =====
171     -- FASE 6: Calcolo quantita' - macchina CAMBIATA
172     =====
173     UPDATE P
174     SET P.Qta = CASE
175         WHEN P.al_ulp = 0 THEN P.pi_qntprv
176         WHEN P.al_ulp >= P.pi_qntprv THEN P.pi_qntprv
177         ELSE P.al_ulp - P.qnt_versata
178     END
179     FROM #PianificatiSkd P
180     WHERE P.legami > 0
181         AND P.macchina_cambiata = 1;
182
183     -- =====
184     -- FASE 7 (condizionale): Gestione missioni di
185     =====
186     IF @flag <> 0
187     BEGIN
188         INSERT INTO #MissioniResi (pi_id, obj_uid, co_codice)
189         SELECT PS.pi_id, PS.obj_uid, MI.co_codice
190         FROM #PianificatiSkd PS
191         INNER JOIN LegamiEntita_custSanza LE (NOLOCK)
192             ON PS.obj_uid = LE.obj_uid_padre
193         INNER JOIN Missioni MI (NOLOCK)
194             ON MI.obj_uid = LE.obj_uid_figlio
195         WHERE legami > 0
196             AND macchina_cambiata = 1;
197
198         -- Debug: missioni di rientro
199         SELECT 'STEP7_resi' AS fase, pi_id, co_codice
200         FROM #MissioniResi;
201
202         -- Genera le missioni di rientro per i materiali da richiamare
203         -- dalla vecchia macchina
204         EXEC GeneraMissioniRientroSanza @flag;
205     END
206
207     -- Inserisce nella coda i pianificati con macchina cambiata
208     -- che hanno una quantita' da generare (Qta non nulla)
209     INSERT INTO #MissioniDaGenerare (pi_id, Qta)
210     SELECT pi_id, Qta
211     FROM #PianificatiSkd
212     WHERE legami > 0

```

```

212         AND macchina_cambiata = 1
213         AND Qta IS NOT NULL;
214
215     -- Debug: giro 2
216     SELECT 'STEP5_giro2' AS fase, pi_id, Qta
217     FROM #MissioniDaGenerare;
218
219     -- GIRO 2: Genera le missioni per i pianificati con macchina cambiata
220     EXEC GeneraMissioniSanza_custR3;
221     TRUNCATE TABLE #MissioniDaGenerare;
222
223     -- =====
224     -- FASE 8: Nuovi pianificati senza legami (legami = 0)
225     =====
226     INSERT INTO #MissioniDaGenerare (pi_id, Qta)
227     SELECT pi_id, NULL -- Qta NULL = usa logica default della proc
228     FROM #PianificatiSkd
229     WHERE legami = 0;
230
231     -- Debug: giro 3
232     SELECT 'STEP6_giro3' AS fase, pi_id, Qta
233     FROM #MissioniDaGenerare;
234
235     -- GIRO 3: Genera le missioni per i nuovi pianificati senza legami
236     EXEC GeneraMissioniSanza_custR3;
237
238     COMMIT TRANSACTION;
239
240 END TRY
241 BEGIN CATCH
242     -- In caso di errore, annulla l'intera transazione e rilancia
243     -- l'eccezione verso il chiamante
244     IF @@TRANCOUNT > 0 ROLLBACK TRANSACTION;
245
246     DECLARE @errorMessage nvarchar(4000) = ERROR_MESSAGE();
247     DECLARE @errorSeverity int = ERROR_SEVERITY();
248     DECLARE @errorState int = ERROR_STATE();
249
250     RAISERROR(@errorMessage, @errorSeverity, @errorState);
251 END CATCH
252
253 -- Pulizia delle tabelle temporanee a fine procedura
254 DROP TABLE #MissioniDaEliminare;
255 DROP TABLE #MissioniDaGenerare;
256 DROP TABLE #MissioniResi;
257 DROP TABLE #PianificatiSkd;
258
259 END

```

Glossario

Commessa Ordine commerciale generato dall'ERP aziendale che rappresenta la richiesta del cliente. Contiene informazioni quali cliente, date di creazione e consegna, priorità, ed è composta da una o più righe commessa. 18

ERP Enterprise Resource Planning: sistema informativo integrato che gestisce i principali processi aziendali, tra cui pianificazione della produzione, gestione degli ordini, contabilità e logistica. Rappresenta il livello 4 della piramide dell'automazione. 5

fasi Denominata anche Bolla di Lavoro, rappresenta la copia operativa di un'attività pianificata. Traccia l'avanzamento della singola lavorazione in termini di tempo e quantità prodotte. 19

Gemba Walk Metodologia nell'osservazione diretta dei processi, con l'obiettivo di comprendere le dinamiche operative attraverso il confronto con gli operatori e l'analisi delle attività effettivamente eseguite. 27

Lavoro Entità di dettaglio dell'ordine di lavoro che importa le informazioni definite nel ciclo di produzione: operazione, centro di lavoro, macchina e tempo previsto.. 19

MES Manufacturing Execution System: sistema informatizzato che ha la funzione principale di gestire e controllare la funzione produttiva di un'azienda, collocandosi tra il livello ERP e il livello di controllo di macchina. 5

MOM Manufacturing Operations Management: insieme delle attività di gestione delle operazioni di produzione.. 8

ODT Ordine di Trasferimento: documento operativo di trasferimento merce nello stabilimento . 53

- OperaInterfaces** Sistema di comunicazione bidirezionale tra ERP e Opera MES. Gestisce il flusso di messaggi inbound (direttive verso il MES) e outbound (consuntivi di produzione verso l'ERP) tramite tabelle di staging e procedure memorizzate. [26](#)
- Ordine di Lavoro** Unità operativa attraverso cui viene pianificata e gestita la produzione dell'articolo associato a una riga commessa. Articolato in uno o più lavori, ciascuno corrispondente a una fase del ciclo di produzione. [18](#)
- pianificati** Record generato da Opera MES che contiene le informazioni riguardo a un task, ad esempio la macchina che è stata assegnata alla lavorazione e le date di inizio e fine previste. [19](#)
- Plant Manager** Servizio di Opera MES dedicato alla gestione e al monitoraggio dell'impresa. Consente la visualizzazione e la configurazione del programma di produzione e dei parametri operativi degli impianti. [17](#)
- Riga Commessa** Elemento di dettaglio della commessa cliente che identifica un singolo articolo ordinato e la relativa quantità richiesta. Costituisce la base per la generazione degli ordini di lavoro. [18](#)
- STAR** Framework metodologico (Situation, Task, Action, Result) utilizzato per analizzare e descrivere situazioni operative complesse in modo strutturato. [27](#)
- UAT** User Acceptance Testing: fase finale del processo di test del software in cui gli utenti verificano se il sistema soddisfa i requisiti aziendali. [28](#)
- UDM** Unità di movimentazione: contenitore fisico (es. cassone, pallet, vassoio) utilizzato per il trasporto e lo stoccaggio dei materiali all'interno del magazzino e del reparto produttivo. [17](#)
- ULP** Unità Logica di Produzione: parametro che definisce la quantità massima di articoli finiti producibili presso la postazione operatore a bordo macchina. [40](#)
- Workflow Manager** Modulo di Opera MES che fornisce agli operatori l'interfaccia operativa per la gestione e la registrazione in tempo reale delle attività produttive. [17](#)

Bibliografia

- [1] Wikipedia contributors, “Manufacturing execution system.” https://en.wikipedia.org/wiki/Manufacturing_execution_system.
- [2] Symestic, “Mesa-11 functional model.” <https://www.symestic.com/en-us/what-is/mesa-11>.
- [3] M. Assid, A. Gharbi, and R. Pellerin, “Machine learning-based dynamic production planning and control in unreliable manufacturing systems with supply disruptions,” *International Journal of Production Research*, pp. 1–19, 2025.
- [4] V. Filipov and P. Vasilev, “Manufacturing operations management—the smart backbone of industry 4.0,” *Industry 4.0*, vol. 1, no. 1, pp. 19–24, 2016.
- [5] Wikipedia contributors, “Ansi/isa-95.” <https://it.wikipedia.org/wiki/ANSI/ISA-95>.
- [6] Fare Elettronica, “Evoluzione dei sistemi nell’industria.” <https://farelettronica.it/evoluzione-sistemi-industria/>.
- [7] International Society of Automation, “Ansi/isa-95.00.01-2000 enterprise-control system integration – part 1: Models and terminology,” 2000.
- [8] T. DeMarco, “Structured analysis and system specification,” in *Software pioneers: contributions to software engineering*, pp. 529–560, Springer, 2011.
- [9] F. Maule, *M.E.S. - Manufacturing Execution Systems*. PhD thesis, Università degli Studi di Padova, 2010.
- [10] Cybertec, “Cybertec – software per la gestione dei processi produttivi.” <https://www.cybertec.it>.
- [11] Cybertec, “Opera mes – manufacturing execution system.” <https://www.operames.it>.

- [12] Gruppo Zucchetti, “Zucchetti – software gestionale.” <https://www.zucchetti.it>.
- [13] Headvisor S.r.l., “Gemba walk efficace. cos'è e come eseguirlo.” <https://www.headvisor.it/lean-production-gemba-walk>. Consultato il 10 marzo 2026.