



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE,
FISICHE E NATURALI

Corso di Laurea in Informatica (CREMA)

**Pianificazione e scheduling
della produzione: un caso di
studio**

Relatore:

Prof. Giovanni Righini

TESI DI LAUREA DI:

Diego Valorsi

Matricola 706496

Correlatore:

Ing. Fabrizio Rota

Anno Accademico 2009/2010

The background of the slide features a large, faint, circular seal of the University of Milan. The seal contains a central figure of a woman in classical attire, holding a torch in her right hand and a staff with a cross in her left. Behind her is a depiction of a cityscape with various buildings. The Latin text "UNIVERSITAS STUDIORUM MEDIO LANENSIS" is inscribed around the perimeter of the seal.

Diego Valorsi

Pianificazione e scheduling della produzione: un caso di studio

Università degli studi di Milano
dicembre 2010

Indice

Introduzione	1
<i>IBM</i> Italia s.p.a.	2
Il Cliente: Whirlpool Europe s.r.l.	2
L'Obiettivo	3
La pianificazione della produzione	3
Lo scheduling della produzione	5
Struttura della Tesi	6
1 Il Progetto	8
1.1 L'organizzazione attuale	8
1.1.1 La produzione snella	8
1.2 La nuova organizzazione	10
1.2.1 La logica <i>push</i>	10
1.2.2 La logica <i>pull</i>	11
1.2.3 Il punto di sdoppiamento	12
1.2.4 Il concetto di supermercato	14
1.2.5 Le nuove esigenze	15
1.3 Analisi dei sistemi gestionali	15
1.3.1 La gestione con <i>SAP APO</i>	16
1.3.2 La gestione con <i>PPO</i>	17
2 Il processo di produzione di Poprad	19

2.1	Le fasi del processo	19
2.1.1	I problemi dello stabilimento	21
2.2	Analisi dei vincoli	22
2.2.1	Il vincolo dei calendari	23
2.2.2	Il vincolo della produzione per linea	24
2.2.3	Il vincolo delle capacità delle risorse	24
2.2.4	Il vincolo della produzione dei cestelli <i>FL</i>	24
2.2.5	Il vincolo di fornitura dei componenti <i>tub h4</i> e <i>aquastop</i>	25
2.2.6	I vincoli di approvvigionamento dei componenti critici	25
2.2.7	Il vincolo della situazione iniziale delle scorte	25
2.2.8	Il vincolo del primo turno per un gruppo di prodotti finiti <i>TL</i>	26
2.2.9	Il vincolo delle <i>TL</i> per il mercato di Hong Kong	26
2.2.10	I vincoli di lotto	26
2.2.11	I vincoli di configurazione	26
2.2.12	I vincoli di finestre temporali sulla domanda	26
2.3	Gli obiettivi	27
2.3.1	Gli obiettivi della pianificazione	27
2.3.2	Gli obiettivi dello scheduling	27
3	<i>Plant PowerOps</i>	29
3.1	Cos'è <i>Plant PowerOps</i> ?	29
3.2	La tecnologia di <i>PPO</i>	32
3.2.1	Il <i>production planning module</i>	32
3.2.2	Il <i>batching module</i>	34
3.2.3	Lo <i>scheduling module</i>	34
3.3	La base di dati	35
3.3.1	Tabelle generali	36
3.3.2	<i>Master data resources</i>	39
3.3.3	<i>Master data calendars</i>	41
3.3.4	<i>Master data materials e storage units</i>	44
3.3.5	<i>Master data recipes, activities e modes</i>	47
3.3.6	<i>Master data setup times e setup cost</i>	52

3.3.7	<i>Transactional data demands</i>	54
3.3.8	<i>Transactional data procurements</i>	56
3.3.9	<i>Transactional data production plans</i>	57
3.3.10	<i>Transactional data production orders</i>	59
3.3.11	<i>Transactional data material flow</i>	66
3.3.12	<i>Transactional data production schedule</i>	68
4	Il modello	70
4.1	La fase di raccolta e trasformazione dati	70
4.1.1	I dati in ingresso a <i>PPO</i>	71
4.1.2	Il vincolo dei calendari	71
4.1.3	Il vincolo della produzione per linea	73
4.1.4	Il vincolo di capacità delle risorse e della produzione dei cestelli <i>FL</i>	74
4.1.5	Il vincolo di fornitura componenti <i>tub h4</i> e <i>aquastop</i>	75
4.1.6	I vincoli di approvvigionamento dei componenti critici	75
4.1.7	La situazione iniziale delle scorte dei componenti critici	75
4.1.8	Il vincolo del primo turno per un gruppo di prodotti finiti <i>TL</i>	75
4.1.9	Il vincolo delle <i>TL</i> per il mercato di Hong Kong	76
4.1.10	I vincoli di lotto	76
4.1.11	I vincoli di configurazione	77
4.1.12	I vincoli di finestre temporali sulla domanda	78
4.2	La modellazione in <i>PPO</i>	81
4.2.1	Le tabelle generali	81
4.2.2	<i>Master data resources</i>	83
4.2.3	<i>Master data calendars</i>	85
4.2.4	<i>Master data materials e storage unit</i>	86
4.2.5	<i>Master data recipes, activities e modes</i>	88
4.2.6	<i>Master data setup times e setup cost</i>	92
4.2.7	<i>Transactional data demands</i>	98
4.2.8	<i>Transactional data procurements</i>	99
4.3	Simulazioni e risultati ottenuti	100

4.3.1	Confronto delle soluzioni di pianificazione	100
4.3.2	Confronto delle soluzioni di scheduling	109
5	Conclusioni	118
	Bibliografia	126
	Ringraziamenti	128

Introduzione

L'ansia competitiva, caratteristica dell'odierno mercato globale, che si manifesta con la ricerca di percorsi di minimizzazione dei costi delle attività di impresa, congiunta con la valorizzazione di ogni singola attività, presuppone che le aziende sappiano conciliare delle politiche gestionali basate sulla scala e l'esperienza (*push*), con diverse politiche gestionali fondate sulla reattività e la flessibilità (*pull*).

In questa tesi affronto un caso reale di un problema di pianificazione e scheduling della produzione, per un'impresa in cui è in atto una trasformazione da una pura politica *push*, ad una politica mista *push-pull*. Una politica, che comprenda tutte o parte delle caratteristiche del modello *pull*, mira a raggiungere un maggior grado di reattività e flessibilità rispetto alle esigenze cliente. Tali fattori dipendono fortemente dal piano di produzione inviato allo stabilimento, che in questi contesti, oltre a dover essere un piano realmente fattibile, dovrebbe essere limitato al minimo per quanto concerne la durata del periodo congelato, e non dovrebbe essere eseguito per intervalli di tempo troppo ampi.

Il lavoro qui descritto è frutto di uno stage che ho svolto all'interno di *IBM Italia*, nel gruppo *Global Business Service, Business Analytics and Optimization*, nel quale ho ricoperto il ruolo di *Supply Chain Consultant*. Il cliente committente del progetto è Whirlpool Europe s.r.l.

IBM Italia s.p.a.

IBM (International Business Machines Corporation) è al giorno d'oggi la più grande azienda di informatica del mondo ed anche una delle più antiche (è nata nel 1911) [5]. *IBM* ha fortemente contribuito alla nascita e allo sviluppo del calcolatore moderno, essendo stata per parecchi anni leader nella loro produzione, e investendo intensamente nella ricerca.

Dal dicembre 2004, quando ha ceduto a Lenovo PC Global, *IBM* ha abbandonato la produzione di *personal computer*. Oggigiorno è attiva in molti settori: dai server che vende con vari sistemi operativi, al software, ai servizi in ambito informatico, ai microprocessori e alle periferiche.

Lo slogan “aiutiamo il mondo a diventare più intelligente” riassume perfettamente la strategia adottata da *IBM*, che nell'area dell'analisi e dell'ottimizzazione del business ha recentemente acquisito l'azienda francese *ILOG*, proprietaria di uno tra i più potenti risolutori matematici sul mercato, il *CPLEX*, e di altre applicazioni *user friendly* specifiche di una ottimizzazione a vari livelli della *supply chain* come *LogicNet Plus*, *Transportation Analyst* e *Plant PowerOps*.

Il Cliente: Whirlpool Europe s.r.l.

Il committente del progetto è Whirlpool Europe s.r.l., che fa parte di Whirlpool Corporation un'azienda multinazionale leader mondiale nella produzione e nella commercializzazione di grandi elettrodomestici [6]. Whirlpool Europe, a cui faremo semplicemente riferimento tramite Whirlpool, è attualmente impegnata nella riorganizzazione del proprio sistema di produzione da una pura logica *push*, verso una logica mista *push-pull* ispirata al *lean manufacturing*, nell'ottica di minimizzare qualsiasi forma di spreco.

Un sistema misto è enormemente più performante di un sistema *push*, ma richiede una gestione più complessa. Basandosi sul concetto di *make to order*, cerca di portare per quanto possibile il mercato in fabbrica anziché il prodotto sul mercato, e necessita *in primis*, di una perfetta coordinazione dei flussi di

informazioni e materiali, da un'integrazione dei fornitori e dall'erogazione di piani di produzione realmente fattibili [1].

L'Obiettivo

L'obiettivo posto è la realizzazione di un modello che, all'interno di *Plant PowerOps* (*PPO*), rappresenti il processo produttivo di uno stabilimento Whirlpool utilizzato come campione, per valutare la fattibilità e l'efficienza di gestire la nuova organizzazione della produzione mediante l'applicazione *IBM*, sia a livello di *SCM*¹ (*supply chain management*) che a livello di stabilimento. Il modello in *PPO* sarà quindi utilizzato per gestire la pianificazione (o programmazione) operativa (sotto il controllo dell'*SCM*) e lo scheduling della produzione (sotto il controllo dello stabilimento).

La pianificazione della produzione

La pianificazione della produzione è il processo con cui si definisce ed impegna l'ammontare delle risorse (manodopera, macchinari, attrezzature, materiali) di cui l'azienda avrà bisogno per le sue attività produttive future, e l'allocation di queste risorse per ottenere il prodotto desiderato, nelle quantità stimate, al tempo previsto, ed al minor costo totale possibile [2].

Per il funzionamento di un sistema produttivo è essenziale, tra l'altro, procurarsi i materiali che devono essere trasformati, e collocare sul mercato i prodotti fabbricati. È possibile in questo senso individuare il flusso tipico dei materiali delle aziende manifatturiere come rappresenato in figura 1.

Il flusso fisico ha inizio con l'acquisto delle materie prime dai fornitori (approvvigionamento), la fase successiva trasforma le materie prime prelevate dal magazzino nei prodotti finiti (produzione). Completato il processo di produzione, il prodotto finale viene stoccato per poi essere distribuito sul mercato (distribuzione fisica).

¹È un sistematico e strategico coordinamento delle tradizionali funzioni aziendali e delle tattiche prima all'interno di ogni azienda e poi lungo i vari membri della catena di distribuzione con l'obiettivo di migliorare le prestazioni di lungo periodo dei singoli membri e dell'intera catena.

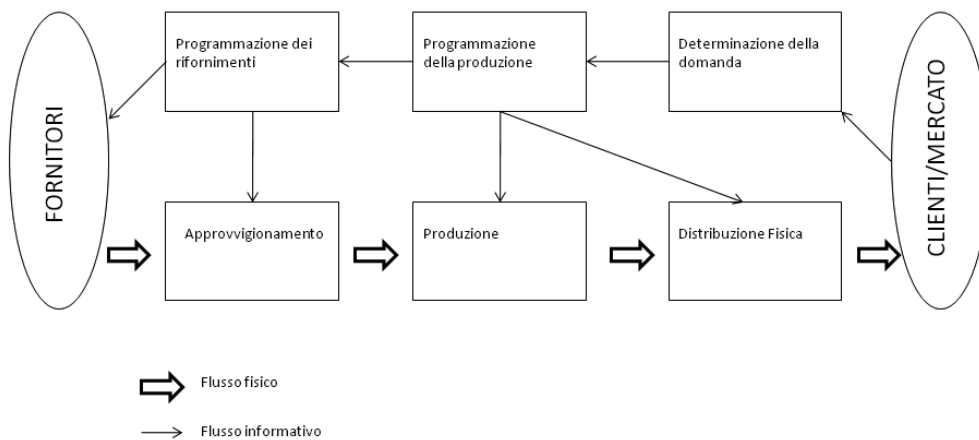


Figura 1: Il flusso dei materiali

Analogamente al flusso fisico, è possibile individuare anche un flusso informativo. Il flusso informativo ha origine dal mercato dei prodotti finiti, dal quale si reperiscono tutte le informazioni essenziali per la definizione della domanda, che può essere rappresentata dagli ordini dei clienti acquisiti, da previsioni di vendita, o da entrambi. Essa costituisce la direttiva primaria per la fase seguente di pianificazione della produzione. Quest'ultima, a sua volta, fornisce le informazioni opportune per le fasi di produzione, distribuzione fisica e programmazione degli approvvigionamenti.

In sintesi, la programmazione della produzione è un processo formato da un insieme di attività, attraverso le quali si consegue la trasformazione dei dati in ingresso (domanda) in una serie di risultati in uscita, quali: ordini di produzione, ordini di rifornimento e decisioni riguardo le risorse produttive necessarie in futuro.

La pianificazione della produzione è un problema complesso. In genere è utilizzato un approccio gerarchico per risolverlo, che consiste nello scomporre il problema complessivo in più sottoproblemi di più semplice risoluzione, in modo che all'interno di ciascuno di essi il numero di vincoli e variabili sia limitato. La programmazione della produzione può essere strutturata in quattro fasi principali:

- Fase uno: pianificazione strategica della produzione. È eseguita sul lungo termine (orizzonte temporale di riferimento di due o più anni),

il livello di precisione dei dati disponibili è basso, serve a valutare le variazioni di capacità da assegnare al sistema produttivo.

- Fase due: pianificazione aggregata della produzione. È eseguita sul medio termine (orizzonte temporale di riferimento di un anno o all'esercizio), il livello di precisione dei dati disponibili è medio, ha lo scopo di organizzare e allocare le risorse esistenti e verificarne l'adeguatezza al piano della domanda prevista e nota (dagli ordini di portafoglio più gli obiettivi di marketing).
- Fase tre: pianificazione principale della produzione. È eseguita sul medio termine (orizzonte temporale di riferimento pari ad un esercizio), il livello di precisione dei dati disponibili è medio-alto, possiede un periodo di riferimento pari alla settimana o al mese, ed ha l'obiettivo di definire il carico di lavoro ad ogni singolo reparto. Le informazioni hanno un livello di dettaglio maggiore rispetto al piano aggregato, solitamente relativo alla famiglia di prodotti o al singolo prodotto.
- Fase quattro: pianificazione operativa. È eseguita sul breve termine (orizzonte temporale di riferimento tipicamente minore di un esercizio), il livello di precisione dei dati disponibili è elevato e senza grossi margini di variabilità, possiede un periodo di riferimento pari al giorno, settimana o mese e le informazioni hanno un livello di dettaglio relativo al singolo prodotto. I carichi di lavoro vengono rilasciati alle varie risorse, che per rispondere tempestivamente e correttamente hanno la necessità di svolgere operazioni in termini di: corretta allocazione delle risorse (*loading*), corretto sequenziamento delle attività di processamento (*scheduling*), corretta definizione delle priorità ad ogni attività (*dispatching*).

Lo scheduling della produzione

Lo scheduling della produzione è quel processo che, ricevendo in ingresso la pianificazione operativa, assegna una sequenza della attività su tutte le ri-

sorse coinvolte in base alla loro effettiva disponibilità e capacità produttiva, con l'obiettivo, in genere, di minimizzare i tempi e costi di produzione nel rispetto delle operazioni pianificate in ogni periodo di riferimento [2]. Nulla vieta che, in base a diverse politiche, vengano perseguiti altri obiettivi o più obiettivi contemporaneamente, come ad esempio possono essere la minimizzazione delle scorte o dei tempi di configurazione, oppure la massimizzazione del carico di lavoro o il bilanciamento del carico tra le risorse. Oltre alla pianificazione operativa, lo scheduling riceve in ingresso altre informazioni quali:

- Stato dei magazzini;
- Ordini effettivi dei clienti;
- Composizione dei prodotti secondo le distinte basi;
- Caratteristiche operative nominali dei vari centri di lavoro;
- Disponibilità dei materiali e dei lavoratori;
- Vincoli, come ad esempio la compatibilità tra articoli, oppure vincoli di disponibilità di risorse specifiche o condivise.

Lo scheduling genera come risultato un insieme di tempi di inizio e di fine per l'insieme delle operazioni richieste da ogni ordine di produzione. Inoltre, stabilisce le risorse sulle quali le operazioni sono eseguite.

Struttura della Tesi

- Capitolo 1: tratta del progetto, dell'attuale gestione di Whirlpool, degli obiettivi prefissati con la nuova organizzazione della produzione, delle nuove esigenze dettate dal nuovo assetto e dei possibili sistemi per gestirlo;
- Capitolo 2: descrive il processo di produzione e i vincoli dello stabilimento campione, ed espone obiettivi a livello di *Simulazione flessibile TL* e stabilimento;

-
- Capitolo 3: descrive l'applicazione *PPO* utilizzata per rappresentare il modello, la tecnologia che utilizza e la base di dati su cui poggia;
 - Capitolo 4: tratta del modello, delle fasi di raccolta dati e di mappatura del processo industriale nel modello di *PPO* nonché delle simulazioni e dei risultati ottenuti;
 - Capitolo 5: Discute i risultati ottenuti e possibili migliorie.

Il Progetto

1.1 L'organizzazione attuale

L'organizzazione produttiva attuale di Whirlpool segue una logica *push*, il cui obiettivo è quello di produrre in base alle previsioni della domanda, prodotti finiti per il magazzino, in attesa che siano successivamente venduti. Con questo sistema l'*SCM* gestisce la pianificazione della produzione basandosi sui dati storici delle vendite, di conseguenza non è possibile rispondere repentinamente ai cambiamenti della domanda, causando sprechi in termini di: giacenze, obsolescenza, qualità del prodotto e livello di servizio.

In un mercato globalizzato come quello odierno, caratterizzato da una competizione sempre più agguerrita, inefficienze come quelle appena descritte possono causare gravi danni economici. Il rimedio che Whirlpool sta cercando di attuare si ispira al modello di produzione introdotto da Toyota tra gli anni 1940-1950 noto come *Toyota production system*, e successivamente ribattezzato come *Lean production* (produzione snella).

1.1.1 La produzione snella

La produzione snella è un metodologia di organizzazione della produzione derivata da una filosofia differente e per certi elementi discorde alla produzione di massa diffusa da Henry Ford [3]. Il sistema Toyota è nato dal fabbisog-

gno particolare in cui si trovava il Giappone subito dopo la fine del secondo conflitto mondiale, di produrre piccole quantità di diversi tipi di prodotti. Il sistema classico della produzione di massa è rigido, il sistema Toyota è stato creato con l'obiettivo contrario, è flessibile.

Alla base del *Toyota production system* si trova l'idea del “fare di più con meno” cioè utilizzare le (poche) risorse disponibili nel modo più produttivo possibile con l'obiettivo di incrementare drasticamente la produttività della fabbrica. In questa situazione, nasce per la prima volta l'esigenza di adattare la produzione alle vendite e non viceversa, Toyota è costretta a produrre solo le quantità vendute e a produrle appena in tempo (*just in time*).

Il *Toyota production system* si basa su cinque principi puntando su un concetto in apparenza semplice: l'eliminazione di ogni tipo di spreco (*Muda*) che immancabilmente accompagna ogni fase di un processo produttivo.

Principi:

- Identificare il valore per il cliente;
- Comprendere il processo di creazione del valore;
- Creare il flusso del valore;
- Far tirare il flusso del valore dal cliente;
- Ricercare la perfezione.

Per perseguire l'eliminazione del *Muda* si opera su tutti gli aspetti del processo produttivo con un approccio basato sul miglioramento continuo e a piccoli passi. Gli eccezionali successi ottenuti utilizzando questa nuova filosofia produttiva hanno portato all'affermazione mondiale del *Toyota production system*, ribattezzato come produzione snella per sottolineare l'eliminazione di tutto ciò che, essendo superfluo, appesantisce il sistema generando costi anziché valore.

Un aspetto fondamentale del *Toyota production system*, finalizzato all'eliminazione delle scorte e delle giacenze di materiale in fabbrica, è il concetto di *Just in time*. Il *Just in time* è un sistema di governo del flusso logistico

basato sull'idea di produrre solo quando serve, vale a dire quando si manifesta la domanda del cliente che sta immediatamente a valle seguendo il flusso del processo. Questo modo di organizzare il lancio della produzione, congiuntamente all'adozione di lotti sempre più piccoli, riduce radicalmente lo stazionamento del materiale fermo in attesa di essere lavorato, riducendo quindi il tempo totale di attraversamento che passa da giorni a ore.

Questa logica di produzione si definisce *pull* e lo strumento concreto per utilizzarlo è il *kanban*. Il *kanban* è un sistema di standardizzazione delle unità prodotte e trasportate, caratterizzato dall'uso di un cartellino che accompagna il contenitore pieno. Il cartellino funge da segnale per il reparto a monte richiedendo di provvedere ad una nuova consegna di un contenitore pieno. Caratteristico del *just in time* è l'espansione del meccanismo logistico presso i fornitori, che vengono totalmente integrati nel sistema *pull*. È indiscutibile che un sistema del genere funziona se il materiale fornito è fedele alle prescrizioni di qualità, altrimenti si bloccherebbe: si comprende quindi in questo modo il bisogno di un livello altissimo della qualità, come se *just in time* e qualità fossero due facce della stessa medaglia.

1.2 La nuova organizzazione

La riorganizzazione del modello di produzione di Whirlpool si basa su una logica mista *push-pull*. La scelta di una strategia di produzione deve essere una scelta ponderata sulla base dell'incertezza della domanda [1].

1.2.1 La logica *push*

Le caratteristiche di una logica di produzione *push* sono le seguenti:

- Le decisioni sulla produzione e sulla distribuzione sono basate su una previsione di domanda a lungo termine;
- Si basa sulla domanda storica;
- Inadatto a incontrare cambiamenti di modelli di domanda;

- Può causare eccessi di scorte, in quanto richiede grandi quantità di scorte di sicurezza;
- Minor spesa in termini di flusso di informazioni rispetto ad una logica *pull*;
- Si basa su produzioni di grandi lotti;
- Livello di servizio scarso.

Per domande stabili viene preferita una strategia *push*, in quanto la reiterazione dei processi aziendali può essere applicata con successo. La politica *push* fonda la propria competitività sull'esperienza cumulata acquisita dalla replicazione delle medesime azioni nel tempo, e su di un'ampia scala delle attività, che un sistema stabile consente di fondare e sfruttare. In una politica *push* si realizzano quindi economie di scala ed economie di esperienza, che sviluppano strutture di costo rigide ma molto competitive laddove i concorrenti non siano in grado di fare altrettanto.

1.2.2 La logica *pull*

Le caratteristiche di una logica di produzione *pull* sono le seguenti:

- La produzione e la distribuzione sono guidate dalla domanda;
- Diminuisce i *lead time* (tempi di risposta);
- Scorte inesistenti o molto basse;
- Necessita della condivisione del flusso informativo con i fornitori, i quali spesso vengono integrati;
- Livello di servizio alto;
- È difficile da implementare.

Alternativamente, per domande caratterizzate da un'incertezza elevata, è preferita una strategia *pull*. L'impresa non è in grado di sviluppare una conoscenza integrale del mercato e dei suoi attori, che si distinguono per instabilità e dinamismo delle azioni e dei bisogni. La programmazione delle attività è pertanto un'attività rischiosa, che non può essere eseguita per intervalli di tempo troppo ampi.

La premessa per l'adozione delle politiche *pull* è quindi un contesto mutevole, in cui la ripetizione dei medesimi processi aziendali non è utilizzabile con profitto. La capacità di stare al passo con la concorrenza dell'impresa non si basa sull'evoluzione di organizzazioni di costo rigide, con una graduale riduzione dei tempi di esecuzione delle attività; la forza competitiva della logica *pull* risiede nella sua abilità in reazione al mercato e nella rapidità di azione. Non si cumula esperienza di produzione o di comunicazione, ma si progredisce l'esperienza di flessibilità di risposta, sia nei processi produttivi, sia in quelli informativi e di comunicazione. La competitività delle soluzioni *pull* sta nell'attitudine al reagire prima dei concorrenti alle dinamiche esigenze della domanda e questo si applica sia ai flussi di materiali, sia ai flussi informativi.

1.2.3 Il punto di sdoppiamento

La combinazione di politiche *push* con politiche di tipo *pull* comporta l'integrazione dei vantaggi dell'uno e dell'altro modello, con differenti gradi di rigidità e di flessibilità (di strutture, costi e relazioni), con l'obiettivo di rispondere alla domanda prima e meglio dei concorrenti.

Whirlpool sta cercando di applicare delle politiche *push* per quelle attività che possono essere reiterate, mentre per quelle attività che devono rendere l'impresa reattiva e flessibile sta cercando di applicare delle politiche *pull*, come richiesto dai moderni approcci guidati dal mercato (*Market-Driven*) alla gestione d'impresa.

L'aspetto critico per una tale gestione aziendale sta nel definire, rispetto ai processi aziendali (di tipo produttivo, di informazione o di comunicazione),

a che livello calare il cosiddetto punto di sdoppiamento (o *decoupling point*), dove la politica *push* è sostituita dalla politica *pull*, cioè il momento in cui le attività pianificate e caratterizzate da un determinato profilo di rischio (*push*), sono rimpiazzate da attività reattive con connesso un differente profilo di rischio (*pull*) [4].

Nell'ambito della logistica integrata, il punto di sdoppiamento viene anche chiamato *Customer Order Decoupling Point*, poiché individua il punto nel quale l'ordine del cliente "entra nell'impresa" creando uno specifico percorso di produzione o assemblaggio dedicato. Secondo una gestione che privilegia le attività di tipo *push*, il punto di sdoppiamento andrebbe posticipato quanto maggiormente possibile (*postponement*), ritardando nel tempo le attività destinate alla soddisfazione di uno specifico ordine. Questa soluzione eviterebbe l'assunzione di alcuni rischi relativi alla relazione tra l'impresa ed il mercato (come clienti non solventi o modifiche di ordine in itinere). Per i motivi appena descritti, il criterio del *posponement* è di tipo prudenziale ed invita semplicemente a cautelarsi nell'esecuzione di ogni processo di risposta specifica al consumatore, per mantenere il massimo della versatilità in risposta alla domanda.

La decisione di posticipare il *decoupling point*, ritardando il punto di risposta specifica agli ordini, costringe l'impresa a farsi carico di altre forme di costo, per esempio relative allo stoccaggio dei prodotti finiti o di parti da assemblare. Viceversa, più si anticipa il *decoupling point*, ovvero più le attività di produzione ed in generale di movimentazione delle merci sono dedicate all'evasione di uno specifico ordine, minore è l'esigenza di creare scorte. L'anticipo del punto di sdoppiamento lungo il processo di produzione e movimentazione delle merci ha quindi la conseguenza di anticipare la personalizzazione delle attività, limitando le necessità di creare in seguito condizioni di reattività e flessibilità. La scelta di avvicinare a monte il punto di sdoppiamento ha l'esito di trasformare in diretti, costi che altrimenti sarebbero indiretti, fino a che non sia possibile inglobarli nella risposta ad uno specifico cliente.

Nelle catene logistiche reali vi sono perlomeno due punti di sdoppiamento. Il primo è quello cui si è fatto cenno in precedenza, ossia il punto di sdoppiamento dei materiali, dove le scorte strategiche sono conservate al massimo

livello di genericità possibile. Il secondo punto di sdoppiamento è di tipo informativo, e dovrebbe rimontare quanto più possibile nella catena di fornitura. Si tratta del punto più lontano fino a cui si addentra nella catena di fornitura l'informazione sull'effettiva domanda finale.

La decisione di anticipare quanto maggiormente possibile nella catena di fornitura il punto di sdoppiamento ha origine dall'esigenza di minimizzare i possibili effetti della distorsione delle informazioni a cui è soggetto il flusso informativo nelle catene di fornitura (*bullwhip effect*).

Per la logica *pull*, essendo caratterizzata dal flusso che si attiva in risposta alle sollecitazioni del mercato, risulta semplice capire che, meno integrazione si realizza con le fasi collocate a monte nella *supply chain*, minore è il grado di controllo di economicità eseguibile. Whirlpool sta cercando di rendere i flussi *pull* estremamente efficaci integrando i fornitori all'interno della catena del valore, in modo da poter rispondere alla variabilità della domanda con un'adequata reattività e flessibilità attraverso una profonda condivisione del flusso informativo.

1.2.4 Il concetto di supermercato

La nuova strategia di produzione prevede una gestione degli *RDC*¹ basata sul concetto di supermercato. Al supermercato, i clienti comprano i prodotti posizionati negli scaffali e gli operatori rimpiazzano i prodotti mancanti nelle quantità prestabilite e senza mai lasciare i clienti senza prodotti. In analogia, quando i prodotti finiti presenti all'interno del centro di distribuzione regionale raggiungono un certo livello non ritenuto sufficiente a soddisfare la domanda nell'immediato futuro, scatta il segnale di ripristino che tira il flusso fisico e informativo a monte (*CDC*²), al fine di ripristinare un piccolo polmone di giacenze al centro di distribuzione regionale.

¹*Regional distribution center* o centro di distribuzione regionale.

²*Central distribution center* o centro di distribuzione centrale

1.2.5 Le nuove esigenze

È di facile intuito che un sistema del genere non può prescindere da una pianificazione della produzione flessibile ma soprattutto realmente fattibile. Per rispondere repentinamente agli ordini di portafoglio è necessario che il periodo congelato (*frozen period*) della pianificazione sia minimizzato in accordo con i flussi di approvvigionamento.

Condizione necessaria per minimizzare il periodo congelato è la creazione di piani di produzione che prevedano quantità e mix realmente raggiungibili in stabilimento, cosa che non si verifica con gli odierni sistemi e modelli utilizzati, dato che la pianificazione viene gestita senza prendere in considerazione la totalità dei vincoli degli stabilimenti, talvolta poiché non sono stati mappati nei modelli, talvolta poiché il sistema non è in grado di gestirli.

È questo il principale motivo della commissione del progetto di *proof of concept*: realizzare un modello che generi dei piani di produzione realmente fattibili (tenendo conto di tutti i vincoli) per uno stabilimento Whirlpool utilizzato come campione, che prenda in considerazione gli obiettivi dell'*SCM* di Whirlpool e dello stabilimento campione, e valutare la fattibilità e l'efficienza con i quali il nuovo sistema e il nuovo modello gestiscono la nuova organizzazione produttiva. La fase successiva del progetto che può essere attivata in caso di esito positivo del *proof of concept* è: la modellazione in *PPO* del processo produttivo di tutti gli stabilimenti europei di Whirlpool, e l'integrazione di *PPO* nell'attuale sistema di gestione.

1.3 Analisi dei sistemi gestionali

Per giustificare l'architettura scelta per gestire la pianificazione della produzione, riporto in seguito l'analisi che abbiamo condotto prima di iniziare la fase di realizzazione del modello. Dalla scelta fra le architetture disponibili: *SAP* (*Systems, Applications and Products in data processing*) *APO* (*Advanced Planning and Optimizer*) e *PPO* in un processo a cascata o *PPO* che rimpiazza *SAP APO*, dipenderanno le aree su cui il modello si dovrà focaliz-

zare.

1.3.1 La gestione con *SAP APO*

La pianificazione della produzione è attualmente gestita mediante il sistema *SAP APO* [7]. Il modello in *APO*, utilizzato per la pianificazione della produzione di tutti gli stabilimenti Whirlpool europei, mappa come vincoli solamente la dimensione del lotto minimo, la capacità giornaliera di ogni risorsa finale di assemblaggio, la risorsa sulla quale ogni prodotto finito può essere assemblato e il ritmo di produzione (*takt time*) relativo alla coppia prodotto-risorsa.

Il modello *APO* riceve in ingresso lo stato dei magazzini e la domanda suddivisa in tre tipologie: la domanda diretta del cliente, la domanda prevista e la domanda per le promozioni. *APO* genera in uscita un piano di produzione al quale è stata aggiunta un'ulteriore tipologia di domanda utilizzata per gestire il ripristino delle scorte. Il piano inviato allo stabilimento però non mantiene diversificazioni riguardo le tipologie di domanda, che vengono rappresentate in forma aggregata dalla coppia di valori: quantità e codice del prodotto finito.

APO fa parte del pacchetto di soluzioni *SAP* che coprono la maggior parte delle attività *IT* gestite da Whirlpool, e sulla quali Whirlpool ha effettuato una precisa scelta strategica investendo molto dal punto di vista economico. Caratteristiche:

- Piani di produzione non fattibili poiché non sono stati mappati tutti i vincoli;
- Il piano inviato allo stabilimento non rende disponibili le informazioni relative alla priorità delle differenti tipologie di domande;
- Gestisce le scorte mediante la creazione di domanda aggiuntiva;
- Rappresenta una scelta strategica di forte impatto economico.

1.3.2 La gestione con *PPO*

PPO è un'applicazione nata per gestire sia la pianificazione che lo scheduling della produzione mediante un unico modello condiviso. *PPO* è stato sviluppato con l'intenzione di poter rappresentare qualsiasi tipologia di vincoli e obiettivi presenti nell'industria manifatturiera, pertanto, dovrebbe risultare adatto per poter mappare in modo completo qualunque processo produttivo di Whirlpool.

A differenza del modello mappato in *APO*, *PPO* permette di gestire in egual misura le differenti tipologie di domanda, sia durante la pianificazione che durante lo scheduling, in modo che anche lo stabilimento sia a conoscenza delle differenze di priorità. Anche la gestione delle scorte è un'attività che *PPO* permette di manipolare in maniera approfondita. Un'ulteriore valore aggiunto è la gestione automatizzata della fase di scheduling delle attività dello stabilimento.

Caratteristiche:

- *PPO* è in grado di mappare tutte le tipologie di vincoli presenti nell'industria manifatturiera, quindi genera dei piani di produzione realmente fattibili.
- Condividendo sia l'applicazione che il modello tra stabilimento e l'*SCM*, le informazioni relative alla priorità della domanda risultano disponibili anche nello stabilimento.
- Gestisce le scorte in modo nativo, senza dover creare domanda aggiuntiva.
- Può essere adottato in stabilimento come strumento interattivo per lo scheduling delle attività, nonché per la manipolazione del piano di produzione proveniente dall'*SCM* di Whirlpool.

Utilizzare *PPO* in sostituzione di *APO*, rappresenterebbe sicuramente la scelta più coerente e precisa, in quanto gestirebbe tutte le informazioni al più alto livello di dettaglio, e il valore aggiunto risultante sarebbe sicuramente quello maggiore. Di contro, la scelta di eliminare *APO* dall'architettura può

essere molto rischiosa. La dirigenza di Whirlpool potrebbe non digerire questa decisione in quanto si tratta di una recente scelta strategica e di forte impatto economico.

Nel primo caso *PPO* riceverebbe in ingresso gli stessi dati che riceve tuttora *APO*, nel secondo caso, si aggiungerebbe un livello all'attuale architettura, ossia i dati in ingresso per *PPO* coinciderebbero con i dati di uscita di *APO*. Trattandosi di un progetto di *proof of concept* i cui obiettivi sono quelli di mostrare le capacità dello strumento, e tenendo conto che una precoce eliminazione di *APO* ci avrebbe con molte probabilità sbarrato la strada per l'effettiva implementazione di *PPO* nell'architettura gestionale, abbiamo deciso di puntare sul secondo percorso in cui *PPO* segue logicamente *APO*.

Il processo di produzione di Poprad

Lo stabilimento campione, che Whirlpool ci ha messo a disposizione per valutare con quale efficacia e efficienza *PPO* è in grado di gestire la nuova logica di produzione, è lo stabilimento di Poprad (Slovacchia) adibito alla produzione delle lavatrici. Prima di procedere con la modellazione è stato necessario svolgere diversi incontri, sia con l'*SCM* di Whirlpool, sia con i responsabili dello stabilimento, per conoscere quanto più possibile del processo produttivo, in modo da individuare quelle fasi che si considerano critiche e che quindi costituiscono i vincoli da rappresentare.

Personalmente, mi è stato attribuito il compito di integrare questo stadio del progetto con lo studio parallelo di *PPO*, in modo che potessi pensare fin da subito alla maniera più adatta per rappresentare i vincoli all'interno del modello.

2.1 Le fasi del processo

Nella figura 2.1 sono rappresentate le principali fasi del processo di produzione delle lavatrici nello stabilimento di Poprad. La produzione è suddivisa in due tipologie di lavatrici: quelle a carico frontale (*front loader (FL)*) e quelle a carico verticale (*top loader (TL)*). Ognuna di queste famiglie è costi-

tuita dall'unione di due ulteriori sottofamiglie, che per le *FL* sono le lavatrici da incasso (*built in (BI)*) e le lavatrici a libera installazione (*free standing (FS)*), mentre per le *TL* sono le lavatrici a basso regime (*low range (LR)*) ed le lavatrici ad alto regime (*height range (HR)*).

La maggior parte delle materie prime che vengono fornite allo stabilimento è costituita da lamiere di acciaio e da plastica. Le fasi di stampaggio della struttura, del cestello e della porta, vengono eseguite partendo da questi materiali mediante delle matrici e presse a iniezione.

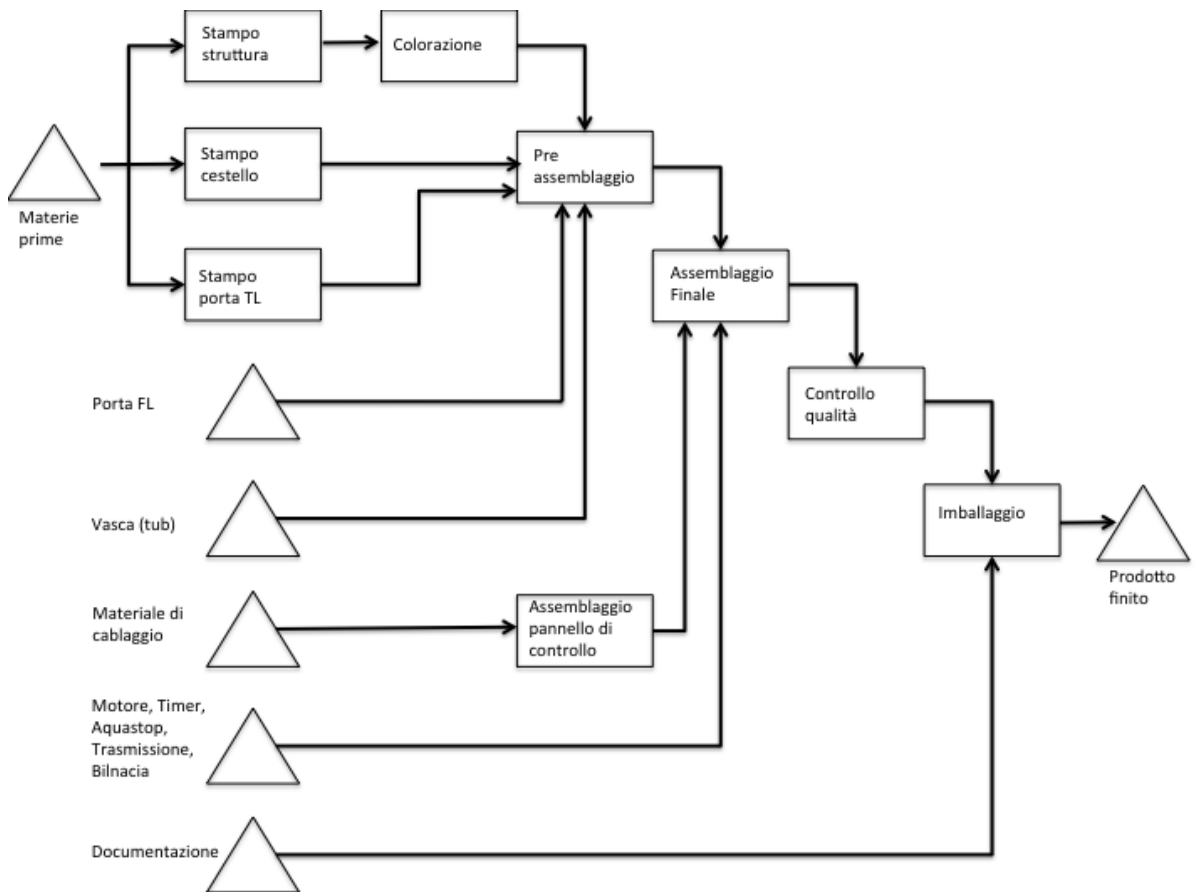


Figura 2.1: Le fasi del processo produttivo

Lo stampo del cestello avviene sfruttando tre linee di produzione. Due di queste sono dedicate in modo esclusivo per le tipologie *TL HR* e *TL LR*, mentre una linea è condivisa per la realizzazione dei cestelli, sia per le *FL FS*,

che per le *FL BI*. Alcuni semilavorati, come la struttura, vengono colorati prima di essere impiegati nella fase di pre-assemblaggio, altri semilavorati invece, come le porte *FL*, hanno invece la produzione delegata da terze parti. La fase di pre-assemblaggio è costituita da due linee di produzione separate, una dedicata alle *FL* e l'altra dedicata alle *TL*, e come visibile dalla figura 2.1 coinvolge: la struttura, la porta, il cestello e la vasca. La fase successiva al pre-assemblaggio è l'assemblaggio finale. In questa fase sono disponibili quattro linee per il montaggio: la linea 21 è dedicata alla produzione delle *TL LR*, la linea 22 può essere utilizzata sia per la produzione delle *TL LR* che per la produzione delle *TL HR*, la linea 23 è dedicata alla produzione delle *FL FS*, ed infine la linea 24 permette la produzione sia delle *FL FS* che delle *FL BI*.

Durante l'assemblaggio finale avviene il montaggio di diversi materiali forniti dall'esterno come: il motore, il timer, la trasmissione, l'*aquastop* e la bilancia. Il pannello di controllo è fabbricato all'interno dello stabilimento, mentre il materiale di cablaggio è reperito dall'esterno. Le ultime due fasi sono rappresentate dal controllo della qualità e dall'imballaggio, in quest'ultimo passaggio viene inserita la documentazione relativa all'uso del prodotto.

2.1.1 I problemi dello stabilimento

In seguito sono descritte le problematiche dello stabilimento che ci sono state dichiarate dallo stabilimento stesso o dall'*SCM* di Whirlpool.

- La produzione dei cestelli (*drum*) per le *FL* è più lenta rispetto all'assemblaggio finale delle *FL*.
- Il componente *tub h4* (tipo di vasca) è fornito con una quantità limitata giornaliera, spesso critica per la produzione.
- Il componente *aquastop* è fornito con una quantità limitata giornaliera, spesso critica per la produzione.
- All'interno della famiglia *TL*, esiste un certo gruppo di prodotti finiti che possono essere immessi sulla linea finale di assemblaggio solamente durante il primo turno.

- All'interno della famiglia TL , i modelli per il mercato di Hong Kong non possono essere prodotti sull'assemblaggio finale contemporaneamente dalle linee che fabbricano le TL .
- L'approvvigionamento dei componenti: timer, motore e bilancia; non è mappato nel sistema di ripristino dei materiali dello stabilimento.
- In stabilimento, la sequenza delle attività è ottenuta su Microsoft Excel sulla base dell'esperienza dei responsabili della produzione, e sulla base della componentistica comune (timer, motore, bilancia e cestello) dei prodotti finiti, espressa mediante il concetto di modello logistico. Due o più prodotti finiti fanno parte dello stesso modello logistico se possiedono un certo grado di componentistica in comune. Più la produzione fa parte dello stesso modello logistico, meno tempo sarà impiegato per le operazioni di configurazione della linea di produzione.

2.2 Analisi dei vincoli

Sulla base della rappresentazione del processo produttivo e sui problemi dello stabilimento, abbiamo analizzato i vincoli da mappare. In figura 2.2 sono evidenziate le fasi nelle quali sono fisicamente presenti i vincoli. Lo scopo di questa analisi è focalizzarsi esclusivamente su quelle fasi del processo di produzione che risultano critiche, e che spesso impediscono l'effettiva fattibilità del piano di produzione generato da *APO*. Conclusa questa analisi, dovremmo essere in grado di conoscere cosa dovrebbe essere rappresentato all'interno del modello, e cosa invece può essere tralasciato, poichè non costituisce una problematica per il processo industriale.

Per ogni vincolo identificato, abbiamo richiesto allo stabilimento le informazioni necessarie per rappresentarlo, ma non sempre lo stabilimento è stato in grado di fornirci i dati richiesti.

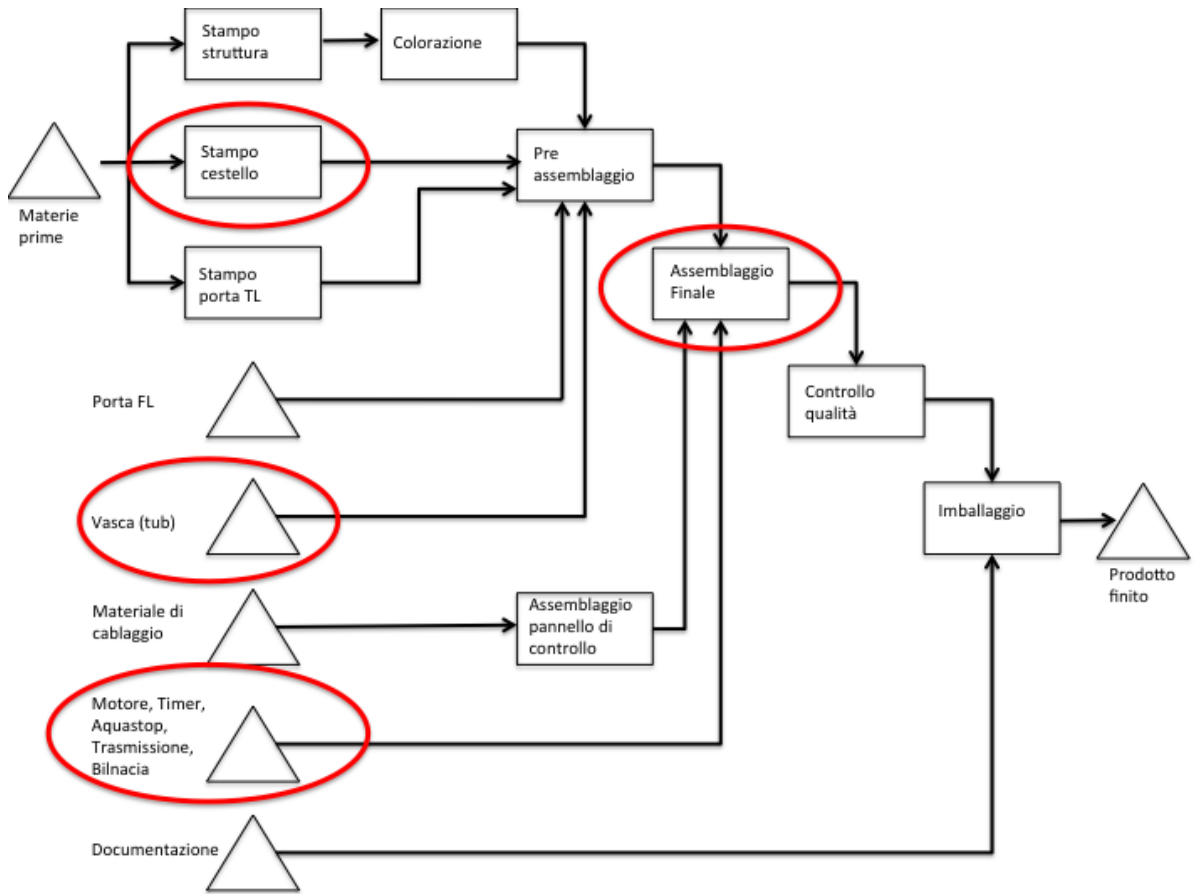


Figura 2.2: I vincoli del processo produttivo

2.2.1 Il vincolo dei calendari

Per un modello è di fondamentale importanza la sua validazione da parte del cliente. Il cliente valida il modello comparando i risultati reali con i risultati delle simulazioni del modello. Il primo passo da compiere per simulare la situazione reale è sicuramente la generazione dei calendari. I calendari stabiliscono i giorni di apertura e chiusura della fabbrica, in modo più specifico definiscono l'efficienza e il numero di turni per cui ogni risorsa è attiva.

L'efficienza è la velocità con cui lo stabilimento produce, essa può dipendere dal numero di lavoratori attivi contemporaneamente. Il numero dei turni è invece programmato in base alla quantità di domanda, e generalmente varia da un minimo di uno ad un massimo di tre. Di solito un turno è costituito

da otto ore e segue le fasce 6-14, 14-22, 22-6.

2.2.2 Il vincolo della produzione per linea

Ogni risorsa può produrre solamente un sottoinsieme dei prodotti finiti o componenti realizzati nello stabilimento. Oltre che alle anagrafiche di tutti i componenti e prodotti finiti, è indispensabile anche conoscere il legame tra una risorsa e i componenti o prodotti finiti che quella risorsa può fabbricare.

2.2.3 Il vincolo delle capacità delle risorse

Per tutte le risorse da mappare nel modello, è necessaria la capacità in pezzi per un dato intervallo di tempo, in modo da poter ricavare il ritmo (*takt time*) di produzione a seconda del componente o prodotto finito realizzabile su quella risorsa. Inoltre, per ogni prodotto finito o componente di cui si rappresenta la produzione, è preferibile conoscere il tempo di attraversamento, in modo da poter ricostruire nella fase di scheduling i diversi tempi di ingresso e di uscita del materiale sulla linea di produzione.

2.2.4 Il vincolo della produzione dei cestelli *FL*

La produzione dei cestelli, come si nota in figura 2.2, è una delle prime fasi del processo di produzione. La fabbricazione dei cestelli per la categoria *FL* avviene tramite un'unica risorsa che, anche senza interruzioni per dei cambiamenti di configurazione, ha una capacità di pezzi per turno inferiore alla somma della capacità di pezzi per turno delle due linee di assemblaggio finale delle *FL*. Questo problema limita spesso la produzione per la categoria *FL*, anche se la linea di fabbricazione dei cestelli *FL* è sempre attiva un giorno in più alla settimana rispetto alle linee di assemblaggio finale *FL*.

Per rappresentare questo vincolo sono necessarie le informazioni riguardo le varie tipologie di cestelli che vengono prodotte, il legame tra questo componente e il prodotto finito su cui viene montato, la relazione di cardinalità tra componente e prodotto finito, i tempi di configurazione necessari per il cam-

bio di produzione della tipologia del cestello e lo stato iniziale delle situazione delle scorte dei cestelli.

2.2.5 Il vincolo di fornitura dei componenti *tub h4* e *aquastop*

I componenti *tub h4* e *aquastop* sono forniti allo stabilimento con una quantità fissa giornaliera, cumulabile nel caso in cui non tutta la quantità fornita è effettivamente utilizzata. Per rappresentare questo vincolo, oltre a conoscere la quantità giornaliera che viene fornita, è necessario il legame tra il prodotto finito e questi componenti, nonché la cardinalità della relazione esistente.

2.2.6 I vincoli di approvvigionamento dei componenti critici

Esistono alcuni componenti critici, ossia spesso capita di non poter eseguire in tempo una data produzione poiché in stabilimento mancano uno o più di questi componenti. Si tratta di componenti acquisiti dall'esterno di cui dovremmo simularne l'approvvigionamento. Fanno parte di questi componenti: il timer, il motore e la bilancia.

Per poter mappare questi vincoli sarà necessario poter conoscere per ogni componente: il tempo di consegna, il legame con i prodotti finiti, i limiti di quantità sull'approvvigionamento, i costi di fornitura e la relazione di cardinalità con il prodotto finito.

2.2.7 Il vincolo della situazione iniziale delle scorte

Per ogni componente critico è necessario conoscere la situazione iniziale del livello delle scorte, in modo da poter simulare con maggiore precisione la realtà.

2.2.8 Il vincolo del primo turno per un gruppo di prodotti finiti TL

Esiste un certo sottoinsieme di prodotti finiti che hanno il vincolo di poter essere immessi sulla linea di assemblaggio finale solamente durante il primo turno, poiché esclusivamente durante il primo turno sono disponibili le risorse necessarie. Una volta immesso sulla linea, il prodotto può anche essere terminato nel turno successivo. Per poter mappare questo vincolo è necessario conoscere la lista di questi prodotti finiti e gestire le fasi di: ingresso, attraversamento e uscita; per quanto riguarda linea di assemblaggio finale.

2.2.9 Il vincolo delle TL per il mercato di Hong Kong

Le TL destinate al mercato di Hong Kong non possono essere prodotte contemporaneamente su entrambe le linee di assemblaggio finale che possono fabbricare le TL . Per rappresentare questo vincolo è necessario conoscere quali modelli di TL sono destinate al mercato di Hong Kong.

2.2.10 I vincoli di lotto

Per ogni risorsa di cui consideriamo indispensabile la mappatura nel modello, è necessario mappare i vincoli di lotto minimo e massimo.

2.2.11 I vincoli di configurazione

Sia la risorsa che produce i cestelli FL , che le risorse finali di assemblaggio, sono soggette a tempi morti causati dai cambi di configurazione necessari per il cambio di produzione. Per gestire questi vincoli è necessario conoscere i vari stati in cui si può trovare la produzione, e i tempi necessari per ogni possibile transizione di stato.

2.2.12 I vincoli di finestre temporali sulla domanda

Questo è prevalentemente un vincolo di pianificazione, rappresenta l'intervallo temporale entro la quale la domanda deve essere soddisfatta per far fronte

alle esigenze del cliente.

Esistono differenti vincoli di finestre temporali sulla domanda, questi variano a seconda che si trovino o meno nel periodo congelato della pianificazione, e in base alla tipologia di domanda. La tipologia di domanda può essere: diretta dal cliente (*built to order* (*BTO*)), per promozioni o scorte (*NONBTO*) e di tipo supermercato (*supermarket* (*SUP*)). La tipologia *SUP* è una domanda in via sperimentale attiva solamente per la categoria TL, che sostituirà la domanda per il ripristino delle scorte della logica *push*.

2.3 Gli obiettivi

Gli obiettivi descritti dall'*SCM* di Whirlpool e dallo stabilimento, ci serviranno per definire le funzioni obiettivo per quanto riguarda rispettivamente la pianificazione e lo scheduling della produzione.

2.3.1 Gli obiettivi della pianificazione

L'obiettivo della pianificazione è soddisfare quanto più possibile la domanda in accordo con le finestre temporali, e le priorità della domanda stessa. Le tipologie di domanda da trattare e le relative priorità sono riassunte dalla tabella 2.1.

Tipo di domanda	Periodo Congelato	Priorità
BTO	si	++++++
SUP	si	+++++
NONBTO	si	++++
BTO	no	+++
SUP	no	++
NONBTO	no	+

Tabella 2.1: Tipi di domanda e relativa priorità

2.3.2 Gli obiettivi dello scheduling

L'obiettivo primario nella fase di scheduling è il rispetto del piano di produzione. Lo scheduling è influenzato dai tempo morti causati dai cambi di

configurazione necessari per il passaggio della produzione di un prodotto finito, appartenente ad un certo stato, alla produzione un altro prodotto finito appartenente ad uno stato differente.

L'obiettivo secondario in fase di scheduling sarà quello di minimizzare i tempi morti causati dai cambi di configurazioni, giocando sulla possibilità di anticipare o posticipare di un certo tempo massimo le produzioni pianificate, nel rispetto dei vincoli imposti dalle finestre temporali.

Capitolo 3

Plant PowerOps

In questo capitolo verrà descritta l'applicazione *Plant PowerOps*, analizzando la tecnologia che utilizza e la base di dati su cui poggia.

3.1 Cos'è *Plant PowerOps*?

Plant PowerOps (*PPO*) è un'applicazione sviluppata dall'azienda francese *ILOG* recentemente acquisita da *IBM*, che permette la generazione di piani di produzione e dettagliati scheduling delle attività per ambienti dell'industria manifatturiera.

PPO si pone quindi come uno strumento di livello sia operativo, che tattico, adatto quindi oltre alle pianificazioni a breve termine, anche alle pianificazioni a medio termine.

PPO gestisce in maniera integrata la pianificazione e lo scheduling della produzione mediante un unico modello. Il modello è costituito da tre diversi moduli: il *planning module*, il *batching module* e lo *scheduling module*. *PPO* è basato sul modello standard utilizzato nella *batch processing industries*: il *Recipe Model* (modello a ricette).

Il *Recipe Model* integra fortemente i dati dei materiali con i dati di processo, a differenza dal modello standard su cui si basa l'industria manifatturiera del discreto, che disaccoppia i dati dei materiali con i dati di processo [9].

La pianificazione e lo scheduling della produzione nell'industria di processo

a lotti rappresentano dei problemi complessi, le cui soluzioni ottime sono spesso impossibili da scovare in un tempo ragionevole.

Una breve panoramica sulle tipologie di vincoli che si possono rappresentare in *PPO* è la seguente:

- Vincoli temporali;
- Vincoli di assegnamento delle risorse;
- Vincoli di capacità delle risorse;
- Vincoli di connessione tra le risorse;
- Vincoli di lotto.
- Vincoli di integralità;
- Vincoli di flusso;
- Vincoli di configurazione e di pulizia delle risorse;
- Vincoli di sincronizzazione;
- Vincoli di efficienza variabile delle risorse;
- Vincoli di produzione come: controllo della qualità, tempo di vita, maturazione;
- Vincoli di magazzino.

I dei possibili criteri di ottimizzazione che *PPO* mette a disposizione sono i seguenti:

- Costo della domanda insoddisfatta (*non delivery cost*);
- Costi di anticipo della soddisfazione della domanda (*earliness cost*);
- Costi di posticipo della soddisfazione della domanda (*tardiness cost*);
- Costi di eccessi di magazzino (*inventory excess cost*);

- Costi di deficit di magazzino (*inventory deficit cost*);
- Guadagno (*revenue*);
- Costi di configurazione (*setup cost*);
- Tempi di Configurazione (*setup time*);
- Costi di capacità delle risorse (*resource capacity cost*);
- Costi di pulizia delle risorse (*resource cleanup costs*);
- Costi di inutilizzo delle risorse (*idle cost*);
- Costi di processo (*processing cost*).

All'interno di *PPO* gli algoritmi di ottimizzazione sono integrati con un'interfaccia grafica interattiva realizzata in java.

L'interfaccia grafica di *PPO*, oltre a permettere di creare buona parte del modello in maniera interattiva, fornisce numerose viste come il *gantt* dello scheduling, la situazione delle scorte, la percentuale di utilizzo delle risorse e i risultati relativi alla domanda soddisfatta. Naturalmente le viste si riferiscono alla miglior soluzione trovata nell'ambito del problema risolto.

Le soluzioni di pianificazione e scheduling possono essere soggette a modifiche, come per esempio l'aggiunta di vincoli, dopo di che è possibile eseguire una nuova ottimizzazione che tenga conto delle modifiche apportate. Per esempio è possibile:

- Modificare la sequenza di produzione e l'assegnamento delle risorse;
- Simulare l'aggiunta di tempo straordinario, o al contrario diminuire il tempo in cui una risorsa è attiva;
- Modificare l'efficienza o la capacità delle risorse;
- Anticipare o posticipare le attività di un ordine di produzione;
- Bloccare, fissare, eliminare o aggiungere degli ordini di produzione;
- Modificare, aggiungere o eliminare della domanda.

3.2 La tecnologia di PPO

Una soluzione di scheduling in PPO è generata risolvendo il problema mediante tre moduli posti in cascata, questi moduli sono:

- Il *production planning module*: determina, nel rispetto dei vincoli di capacità finita delle risorse, i volumi da produrre per ogni periodo di tempo (mesi, settimane, giorni, turni o ore), seguendo i criteri di ottimizzazione.
- il *batching module*: crea gli ordini di produzione nel rispetto dei vincoli di lotto e di flusso dei materiali.
- Lo *scheduling module*: nel rispetto dei vincoli assegna alle attività degli ordini di produzione un tempo di inizio, un tempo di fine e la modalità con la quale l'attività è eseguita. Le modalità rappresentano i diversi modi con cui una certa attività può essere eseguita.

Ogni modulo è costituito da uno o più modelli di risoluzione alternativi che verranno descritti in seguito.

3.2.1 Il *production planning module*

Il *production planning module* genera un piano di produzione approssimativo di quantità raccomandate, prendendo in considerazione vincoli di livello operativo, come i cambi di configurazione, i limiti di capacità, i costi di magazzino, i costi delle risorse, i costi di processo e le finestre temporali sulla domanda.

Il piano di produzione è suddiviso in periodi di tempo (*bucket*). Per ogni *bucket* il *production planning module* determina le quantità di ricetta da processare e le quantità da soddisfare per ogni domanda. Maggiore è il dettaglio del *bucket*, maggiore sarà il numero di variabili presenti nel modello, e di conseguenza aumenterà anche il tempo necessario per risolverlo.

Il problema della pianificazione viene risolto mediante un modello di programmazione matematica, che a seconda dei casi può rientrare nella categoria della programmazione lineare o programmazione lineare intera. In entrambe

le situazioni, la soluzione del problema è ottenuta mediante l'algoritmo *IBM ILOG CPLEX*.

Il *production planning module* permette di scegliere tra diversi modelli per risolvere il problema della pianificazione:

- Il *One Pass With Single Weighted Objective Function*: risolve il problema, che solitamente è multiobiettivo, tramite una singola funzione obiettivo opportunamente pesata. Questo approccio può portare a soluzioni molto lontane dal valore ottimo, nel caso l'algoritmo lavori per un tempo limitato. Ciò succede poiché, mischiando diversi obiettivi soggetti a molti costi, il numero delle possibili diverse soluzioni cresce enormemente.
- il *Multipass With Goal Programming*: più che un modello possiamo definirlo come una tecnica di risoluzione che sfrutta la soluzione di modelli in cascata.

Tale tecnica si basa sul principio che il più importante obiettivo nella fase di pianificazione è rappresentato dal soddisfare il più possibile la domanda. Il primo tentativo consiste quindi nel risolvere un modello nel quale tutta la domanda è considerata come vincolo, e dove l'obiettivo è costituito da una funzione multiobiettivo che tiene conto di tutte le rimanenti finalità.

Nel caso in cui non viene trovata alcuna soluzione nel modello appena descritto, si procede ad una risoluzione per passi. Nel primo passo viene risolto un problema più semplice, in cui l'unico obiettivo è rappresentato dall'incontro della domanda. Nel secondo passo, la domanda è vincolata al valore trovato nel passo uno, e la funzione obiettivo è rappresentata dalle rimanenti finalità.

La *goal programming* si basa sulla definizione di un target per ogni obiettivo, la funzione obiettivo finale diventa poi minimizzare la somma delle differenze tra il valore del singolo obiettivo e il suo valore di target.

- il *Capacity planning*: ha uno scopo differente rispetto ai modelli precedenti. Il suo obiettivo è quello di quantificare il tempo per il quale lo

stabilimento dovrebbe rimanere aperto per poter soddisfare completamente la domanda. L'intera domanda si trasforma quindi in un vincolo, ed è essenziale stabilire dei tempi massimi di lavoro straordinario e un tetto massimo di capacità extra per le risorse.

Definendo i costi di utilizzo del tempo straordinario e della capacità extra è possibile valutare il tempo per il quale lo stabilimento potrebbe rimanere aperto per soddisfare al meglio i clienti.

Anche per questo problema è utilizzata una funzione multiobiettivo definita dall'utente, ma è obbligatorio definire almeno gli obiettivi di minimizzare i costi dell'uso del tempo straordinario, e i costi dell'uso di capacità extra delle risorse.

3.2.2 Il *batching module*

Il *batching module* è il modulo che collega la pianificazione con lo scheduling, ha il compito di definire l'intero flusso dei materiali, dalle materie prime fino alla soddisfazione della domanda per mezzo dei prodotti finiti.

Dato il risultato della pianificazione, il *batching module* genera una lista di ordini di produzione e li collega insieme quando necessario¹.

Il *batching module*, inoltre, determina quali ordini di produzione soddisfano quali domande. Il *batching module* può risolvere il problema mediante degli algoritmi euristici, o mediante la programmazione vincolata basandosi su *IBM ILOG constraint programming*.

3.2.3 Lo *scheduling module*

Lo *scheduling module* alloca gli ordini di produzione alle risorse, e costruisce una dettagliata sequenza delle attività. Ad ogni attività viene associato un preciso tempo di inizio e di fine, nel rispetto di numerosi vincoli, che possono essere: vincoli di calendario delle risorse, vincoli di compatibilità, vincoli di configurazione multidimensionali, vincoli di pulizia e vincoli di precedenza.

¹Per esempio quando un ordine di produzione crea un prodotto intermedio poi consumato da un'altro ordine di produzione.

Lo scheduling genera la soluzione utilizzando la programmazione a vincoli basandosi su *IBM ILOG constraint programming*.

3.3 La base di dati

Conoscere la struttura della base di dati di *PPO* è di fondamentale importanza per capire in che modo vengono interpretati i dati, e per una creazione rapida del modello.

L'interfaccia grafica di *PPO* permette di inserire i dati del modello in maniera guidata. In questa questa modalità non è semplice commettere errori, ma di contro, il tempo necessario per inserire manualmente tutti i dati rende la procedura guidata improponibile per progetti che coinvolgono grandi masse di dati.

Per questo motivo *PPO* mette a disposizione delle funzioni di integrazione con altre applicazioni ad uso comune in azienda, come Microsoft Excel o Microsoft Access.

Esportando il modello nel formato di Excel o Access, ci troviamo direttamente di fronte alle tabelle di *PPO*, che possiamo popolare sfruttando la gestione efficiente di grandi quantità di dati offerta da queste applicazioni.

La base di dati su cui si appoggia *PPO* per gestire i dati del modello è molto ampia e complessa, dato che per risolvere una vasta gamma di problemi, esso deve prendere in considerazione in modo dettagliato tutto ciò che nell'industria manifatturiera del continuo o del discreto può costituire un vincolo o un obiettivo.

Per ragioni di chiarezza descrivo solamente il sottoinsieme di tabelle utilizzate per la realizzazione del modello del processo produttivo dello stabilimento campione di Whirlpool, e per ogni tabella solamente i campi utilizzati [9].

Le informazioni relative al modello sono raggruppate, oltre che in un insieme di tabelle contenenti informazioni di carattere generale, in due distinte categorie: i *master data* e i *transactional data*.

I *master data* rappresentano quelle informazioni che non sono soggette a cambiamenti frequenti e che non contengono informazioni relative alla soluzione

generata da *PPO*.

I *master data* includono:

- Le risorse (*resources*).
- I calendari (*calendars*).
- I Materiali e le unità di stoccaggio (*materials* e *storage units*).
- Le ricette, le attività e le modalità (*recipes*, *activities* e *modes*).
- I costi e tempi di configurazione (*setup time* e *setup cost*).

Fanno parte dei *transactional data* quelle informazioni maggiormente soggette a cambiamenti, e che possono esser state generate da *PPO* come soluzione.

I *transactional data* includono:

- La domanda (*demands*).
- Le giacenze iniziali e i materiali procurati dall'esterno (*procurements*).
- Le produzioni pianificate (*production plans*).
- Gli ordini di produzione (*production orders*).
- Il flusso dei materiali (*material flow*).
- Il sequenziamento delle attività (*production schedule*).

3.3.1 Tabelle generali

Le tabelle generali servono per definire alcune caratteristiche del modello, come la data di origine del modello, l'unità di tempo, la sequenza dei *bucket*, il fuso orario e i diversi profili di ottimizzazione. Le tabelle necessarie per gestire queste informazioni sono rappresentate in figura 3.1.

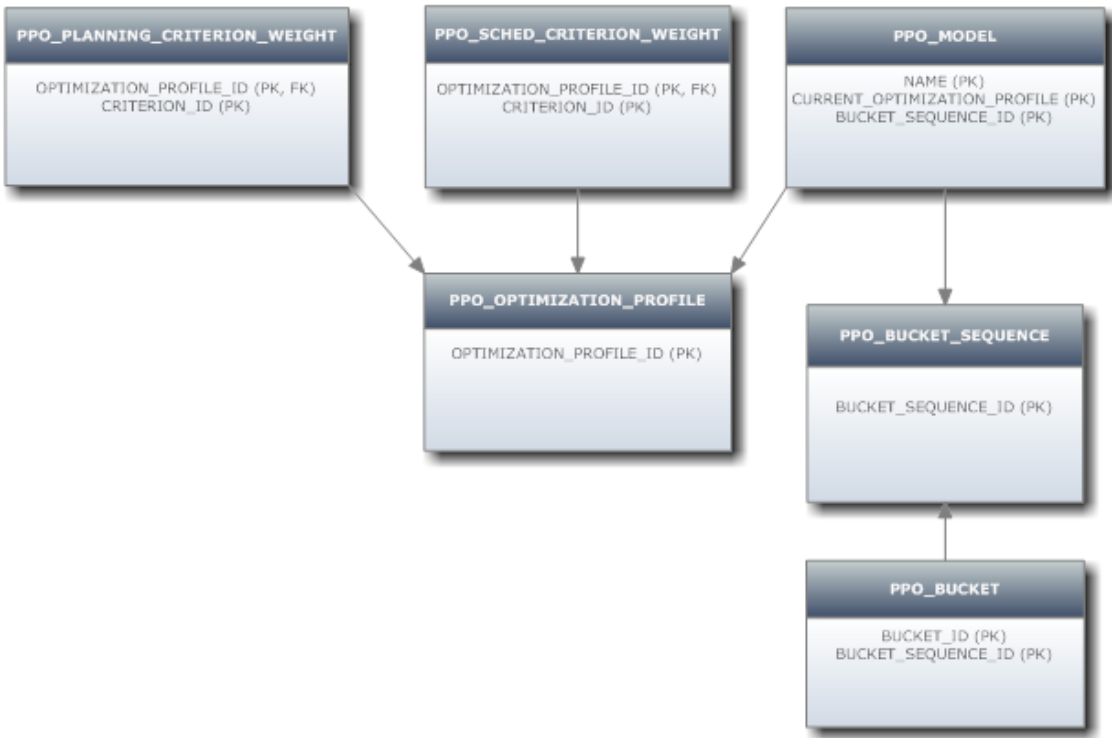


Figura 3.1: Le tabelle generali di PPO

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
BUCKET_SEQUENCE_ID	Indetificativo della sequenza di <i>bucket</i> .	string	
NAME	Descrizione della sequenza dei <i>bucket</i> .	string	

Tabella 3.1: La tabella PPO_BUCKET_SEQUENCE

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
BUCKET_ID	Indetificativo dei <i>bucket</i> .	string	
NAME	Descrizione del <i>bucket</i> .	string	
START_TIME	L'istante di tempo di inizio del <i>bucket</i> .	timestamp	
END_TIME	L'istante di tempo di fine del <i>bucket</i> .	timestamp	
BUCKET_SEQUENCE_ID	Identificativo della <i>bucket sequence</i> .	id	

Tabella 3.2: La tabella PPO_BUCKET

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
OPTIMIZATION_PROFILE.ID	Indetificativo del profilo di ottimizzazione.	string	<i>OnePass, MultiPass, Capacity-Planning Heuristic, Constraint-Based, Advanced-Heuristic</i>
NAME	Descrizione del profilo di ottimizzazione.	string	
PLANNING_HORIZON	Definisce la dimensione dell'orizzonte di pianificazione.	timestamp	
SCHEDULING_HORIZON	Definisce la dimensione dell'orizzonte di scheduling.	timestamp	
PLANNING_TIME_LIMIT	Definisce il tempo massimo (in secondi) a disposizione per il problema di pianificazione.	int	
SCHEDULING_TIME_LIMIT	Definisce il tempo massimo (in secondi) a disposizione per il problema di scheduling.	int	
PLANNING_ALGORITHM	Definisce l'algoritmo utilizzato per il problema di pianificazione.	id	
BATCHING_ALGORITHM	Definisce l'algoritmo utilizzato per il modulo di <i>batching</i> .	id	
PLANNING_REQUIRED	Definisce se il profilo di ottimizzazione richiede di eseguire il <i>planning module</i> .	boolean	
BATCHING_REQUIRED	Definisce se il profilo di ottimizzazione richiede di eseguire il <i>batching module</i> .	boolean	
SCHEDULING_REQUIRED	Definisce se il profilo di ottimizzazione richiede di eseguire lo <i>scheduling module</i> .	boolean	

Tabella 3.3: La tabella *PPO_OPTIMIZATION_PROFILE*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
NAME	Nome del modello.	string	[0..+INF]
TIME_UNIT	Definisce l'unità di tempo, espressa in secondi, del modello.	int	
DATE_ORIGIN	Definisce la data di origine del modello, corrisponde al tempo zero del modello.	timestamp	
START_MIN	Definisce l'istante di tempo da cui possono essere eseguite le attività del modello.	timestamp	
END_MAX	Definisce l'istante di tempo da cui tutte le attività del modello devono essere concluse.	timestamp	
CURRENT_OTPIMIZATION_PROFILE	L'identificativo dell' <i>optimization profile</i> attuale.	id	
TIME_ZONE	Definisce il fuso orario.	id	
BUCKET_SEQUENCE_ID	L'identificativo della sequenza di <i>bucket</i> che si vuole utilizzare nell'ottimizzazione.	id	

Tabella 3.4: La tabella *PPO_MODEL*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
OPTIMIZATION_PROFILE.ID	Indetificativo del profilo di ottimizzazione.	id	[0..1.#INF]
CRITERION_ID	Identificativo del criterio di pianificazione.	id	
WEIGHT	Definisce il peso assegnato al creiteiro all'interno della funzione obiettivo.	double	

Tabella 3.5: La tabella *PPO_PLANNING_CRITERION_WEIGHT*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
OPTIMIZATION_PROFILE_ID	Identificativo del profilo di ottimizzazione.	id	
CRITERION_ID	Identificativo del criterio di scheduling.	id	
WEIGHT	Definisce il peso assegnato al criterio all'interno della funzione obiettivo.	double	[0..1.#INF]

Tabella 3.6: La tabella *PPO_SCHEDULING_CRITERION_WEIGHT*

La tabella 3.4 (*PPO_MODEL*) permette di specificare, oltre al nome del modello, delle informazioni di carattere generale, come l'unità di tempo, la data di origine e il fuso orario. L'unità di tempo è espressa in secondi e rappresenta la finezza del modello nella fase di scheduling. Avere un modello più fine significa anche avere un modello più complesso.

PPO_MODEL permette anche di legare al modello una sequenza di *bucket*. I *bucket* suddividono gli orizzonti di pianificazione e di scheduling in periodi temporali di più piccola dimensione. Più aumenta il numero dei *bucket*, maggiore sarà la complessità del problema di pianificazione.

PPO_BUCKET_SEQUENCE (tabella 3.1) permette di definire le sequenze di *bucket*. È possibile creare molteplici sequenze di *bucket*, ma solo una di queste può essere utilizzata durante un'ottimizzazione. Ogni sequenza di *bucket* è composta da più *bucket*, ognuno di questi può avere una diversa durata, ed è definito tramite la tabella 3.2 (*PPO_BUCKET*).

PPO_MODEL consente anche di legare al modello un profilo di ottimizzazione corrente. Differenti profili di ottimizzazione possono essere creati tramite la tabella 3.3 (*PPO_OPTIMIZATION_PROFILE*). Ogni profilo di ottimizzazione definisce gli algoritmi che devono essere utilizzati nei vari moduli di *PPO* e i tempi che questi hanno a disposizione. Le funzioni obiettivo per i problemi di scheduling e pianificazione, per ogni profilo di ottimizzazione, vengono specificate per mezzo delle tabelle 3.5 (*PPO_PLANNING_CRITERION_WEIGHT*) e 3.6 (*PPO_SCHEDULING_CRITERION_WEIGHT*).

3.3.2 Master data resources

Le tabelle utilizzate per gestire le risorse e le relative relazioni con le altre tabelle, che permettono di specificarne ulteriori caratteristiche, sono mostrate nella figura 3.2.

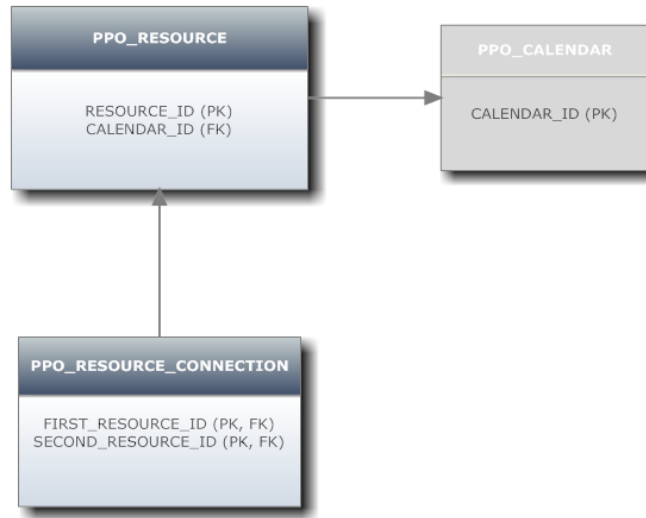


Figura 3.2: Le tabelle utilizzate per gestire le risorse

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
RESOURCE_ID	Indetificativo della risorsa.	string	[0..+INF]
NAME	Descrizione della risorsa.	string	
CAPACITY	Definisce la massima capacità istantanea della risorsa.	int	
CALENDAR_ID	Definisce un calendario opzionale per la risorsa. La risorsa sarà attiva solamente nei giorni stabiliti dal calendario.	id	
START_MIN	Definisce l'istante di tempo da cui la risorsa è disponibile.	timestamp	[0..+1.##INF]
END_MAX	Definisce l'istante di tempo da cui la risorsa non è più disponibile.	timestamp	
PLAN_CAPACITY_REDUCTION_FACTOR	È un fattore che limita la capacità della risorsa nel <i>bucket</i> per il problema di pianificazione.	double	[0..1]
OVERTIME_VARIABLE_COST	Il costo variabile per unità di tempo, da pagare per utilizzare la risorsa durante il tempo di lavoro straordinario nel modello <i>capacity planning</i> .	double	[0..+1.##INF]
EXTRA_CAPACITY_VARIABLE_COST	Il costo variabile per unità di tempo, da pagare per utilizzare della capacità extra della risorsa utilizzando il modello <i>capacity planning</i> .	double	[0..+1.##INF]
EXTRA_CAPACITY_FACTOR	È il fattore che moltiplica la capacità per ottenere la capacità extra massima necessaria nel modello <i>capacity planning</i> .	double	[0..+1.##INF]
CAPACITY_PLANNING_ALLOWED	Definisce se la risorsa può essere utilizzata per l'algoritmo di <i>capacity planning</i> .	boolean	

Tabella 3.7: La tabella *PPO_RESOURCE*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
FIRST_RESOURCE_ID	Indetificativo della prima risorsa da connettere.	id	
SECOND_RESOURCE_ID	Identificativo della seconda risorsa da connettere.	id	

Tabella 3.8: La tabella *PPO_RESOURCE_CONNECTION*

All'interno di *PPO* le risorse sono utilizzate per modellare macchinari, attrezzi, veicoli e lavoratori. Le risorse vengono definite mediante la tabella (3.7) *PPO_RESOURCE*. Per stabilire delle connessioni fisiche tra le risorse, in modo che l'output di una risorsa diventi l'input per un'altra risorsa, viene utilizzata la tabella 3.8 (*PPO_RESOURCE_CONNECTION*).

3.3.3 Master data calendars

Le tabelle utilizzate per gestire i calendari sono esposte nella figura 3.3.

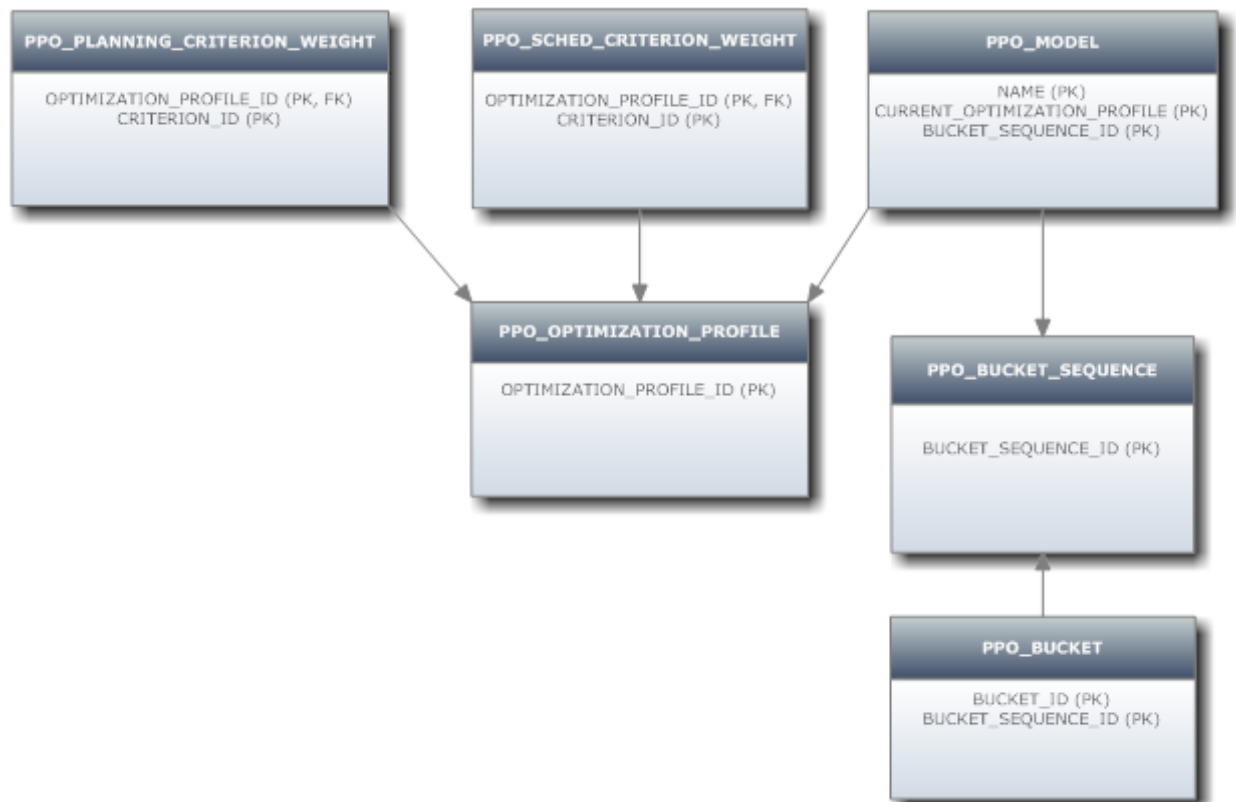


Figura 3.3: Le tabelle utilizzate per gestire i calendari

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
CALENDAR_ID	Indetificativo del calendario.	string	
NAME	Descrizione del calendario.	string	

Tabella 3.9: La tabella *PPO_CALENDAR*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
DAY_SEQUENCE_TEMPLATE_ID	Indetificativo del <i>day sequence template</i> da applicare al calendario.	id	
CALENDAR_ID	Definisce il calendario nel quale sarà applicato il <i>day sequence template</i> .	id	
START_DATE	Definisce il giorno dal quale si applica il <i>day sequence template</i> .	date	
END_DATE	Definisce il giorno dal quale il <i>day sequence template</i> non è più ripetuto.	date	
FIRST_DAY_NUMBER	Specifica l'indice del giorno da cui il <i>day sequence template</i> ha inizio.	int	[1..+INF]

Tabella 3.10: La tabella *PPO_DAY_SEQUENCE_REPETITION*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
DAY_SEQUENCE_TEMPLATE_ID	Indetificativo del <i>day sequence template</i> .	string	
NAME	Descrizione del <i>day sequence template</i> .	string	
NUMBER_OF_DAYS	Definisce il numero di giorni di cui è costituito il <i>day sequence template</i> .	int	[1..+INF]

Tabella 3.11: La tabella *PPO_DAY_SEQUENCE_TEMPLATE*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
DAY_SEQUENCE_TEMPLATE_ID	Indetificativo del <i>day sequence template</i> al quale lo <i>shift template</i> appartiene.	id	
DAY_NUMBER	L'indice del giorno nel quale esiste almeno un turno.	int	[1..+INF]
START_TIME	L'istante di tempo nel quale comincia il turno nel formato "hh.mm".	time	
DURATION	La durata del turno nel formato "hh.mm".	time	
EFFICIENCY	L'efficienza della risorsa nel turno in questione.	double	[0..1]
NAME	Descrizione del turno in questione.	string	
MAX_POSSIBLE_OVERTIME	Il massimo tempo di lavoro straordinario disponibile nel formato hh.mm. È Utilizzato dal modello <i>capacity planning</i> .	time	

Tabella 3.12: La tabella *PPO_SHIFT_TEMPLATE*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
DAY_SEQUENCE_TEMPLATE_ID	Indetificativo del <i>day sequence template</i> al quale il <i>break template</i> appartiene.	id	[1..+INF]
DAY_NUMBER	L'indice del giorno nel quale esiste almeno un tempo di inattività.	int	
START_TIME	L'istante di tempo nel quale inizia il tempo di inattività nel formato "hh.mm".	time	
DURATION	La durata del tempo di inattività nel formato "hh.mm".	time	
NAME	Descrizione del tempo di inattività.	string	

Tabella 3.13: La tabella *PPO_BREAK_TEMPLATE*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
CALENDAR_ID	Indetificativo del calendario al quale il <i>downtime exception</i> appartiene.	id	
START_DATE	L'istante di tempo dal quale inizia il <i>downtime exception</i> .	timestamp	
END_DATE	L'istante di tempo nel quale finisce il <i>downtime exception</i> .	timestamp	
NAME	Descrizione del <i>downtime exception</i> .	string	

Tabella 3.14: La tabella *PPO_DOWNTIME_EXCEPTION*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
CALENDAR_ID	Indetificativo del calendario al quale l' <i>efficiency exception</i> appartiene.	id	[0..1]
START_DATE	L'istante di tempo dal quale l'efficienza del <i>day sequence template</i> è rimpiazzata dall'efficienza di questa tabella.	timestamp	
END_DATE	L'istante di tempo dal quale l'efficienza del <i>day sequence template</i> ritorna attiva.	timestamp	
EFFICIENCY	L'efficienza che sostituirà l'efficienza del <i>day sequence template</i> .	double	
NAME	Descrizione dell' <i>efficiency exception</i> .	string	

Tabella 3.15: La tabella *PPO_EFFICIENCY_EXCEPTION*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
CALENDAR_ID	Indetificativo del calendario al quale l' <i>overtime exception</i> appartiene.	id	
START_DATE	L'istante di tempo dal quale ha inizio l' <i>overtime exception</i> . L' <i>overtime exception</i> introduce dei giorni lavorativi non previsti dal <i>day sequence template</i> .	timestamp	
END_DATE	L'istante di tempo nel quale il lavoro straordinario termina.	timestamp	
NAME	Descrizione dell' <i>overtime exception</i> .	string	

Tabella 3.16: La tabella *PPO_OVERTIME_EXCEPTION*

I calendari sono utilizzati per dichiarare i turni lavorativi, i tempi di inattività e i giorni di chiusura. I calendari possono essere associati alle risorse e in modo più specifico possono essere associati a livello di modalità con cui si esegue l'attività. I calendari sono creati mediante la tabella 3.9 (*PPO_CALENDAR*). Ad ogni calendario è poi possibile collegare uno più record della tabella 3.10 (*PPO_DAY_SEQUENCE_REPETITION*).

La tabella *PPO_DAY_SEQUENCE_REPETITION* connette i calendari con i *day sequence template*, i quali permettono di gestire i calendari in modo ripetitivo, come spesso ripetitive sono le settimane lavorative. I *day sequence template* sono definiti nella tabella 3.11 (*PPO_DAY_SEQUENCE_TEMPLATE*).

Ad ogni *day sequence template* sono associate una o più tuple delle tabelle *PPO_BREAK_TEMPLATE* (tabella 3.13) e *PPO_SHIFT_TEMPLATE* (tabella 3.12), che definiscono effettivamente il modello ripetitivo dei turni e dei tempi di inattività delle risorse.

I calendari reali presentano spesso qualche eccezione rispetto alla normale ripetizione ciclica, alcuni motivi di esempio sono: festività infrasettimanali, variazioni di efficienza dovute alla mancanza di lavoratori e l'aumento dei turni per rispondere alla domanda stagionale.

Per gestire questi casi particolari, possono essere utilizzate opportune tabelle come: *PPO_DOWNTIME_EXCEPTION*, *PPO_OVERTIME_EXCEPTION* e *PPO EFFICIENCY_EXCEPTION* (rispettivamente le tabelle 3.14, 3.16 e 3.15) che permettono di eseguire solamente le modifiche necessarie al calendario senza dover ridefinire dei nuovi *day sequence template*.

3.3.4 Master data materials e storage units

Le tabelle utilizzate per gestire i materiali e le unità di stoccaggio sono rappresentate in figura 3.4.

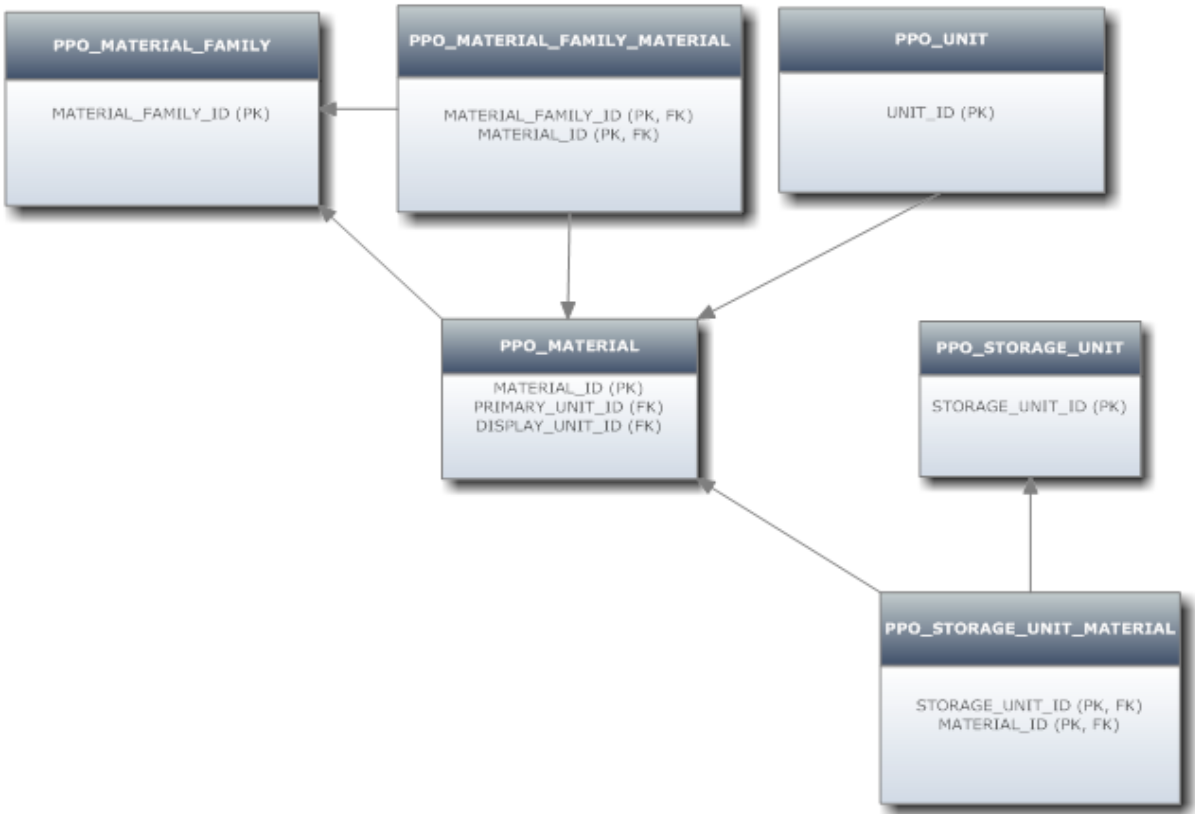


Figura 3.4: Le tabelle utilizzate per gestire i materiali e le unità di stoccaggio

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
MTAERIAL_ID	Indetificativo del materiale.	string	[0..1. #INF]
NAME	Descrizione del materiale.	string	
DAYS_OF_SUPPLY_TARGET_MAX	Massimo numero di giorni di fornitura, entro il quale si vuole matenere in magazzino alla fine di ogni <i>bucket</i> .	double	
PRIMARY_UNIT_ID	Indica l'unità di misura primaria utilizzata per riferirsi alla quantità del materiale.	id	<i>Automatic,</i> <i>DaysOf-</i> <i>SupplyMax,</i> <i>Custom,</i> <i>WasteRisk</i>
DISPLAY_UNIT_ID	Indica l'unità di misura utilizzata per mostrare le quantità nell'interfaccia grafica di PPO.	id	
STOCK_MAX_POLICY	Definisce la politica utilizzata per il massimo livello di scorta di questo materiale.	id	

Tabella 3.17: La tabella *PPO_MATERIAL*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
MTAERIAL_FAMILY_ID	Indetificativo della famiglia del materiale.	string	
NAME	Descrizione della famiglia del materiale.	string	
TYPE	La tipologia alla quale la famiglia del materiale appartiene.	string	

Tabella 3.18: La tabella *PPO_MATERIAL_FAMILY*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
MTAERIAL_FAMILY_ID	Indetificativo della famiglia del materiale.	id	
MATERIAL_ID	Identificativo del materiale.	id	

Tabella 3.19: La tabella *PPO_MATERIAL_FAMILY_MATERIAL*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
UNIT_ID	Indetificativo dell'unità di misura.	string	
NAME	descrizione dell'unità di misura.	id	

Tabella 3.20: La tabella *PPO_UNIT*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
STORAGE_UNIT_ID	Indetificativo dell'unità di stoccaggio.	string	
NAME	Descrizione dell'unità di stoccaggio.	string	
QUANTITY_MAX	Definisce la quantità massima che può ospitare l'unità di stoccaggio.	double	[0..1#INF]
CATEGORY	Definisce la categoria dell'unità di stoccaggio.	string	warehouse, factory

Tabella 3.21: La tabella *PPO_STORAGE_UNIT*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
STORAGE_UNIT_ID	Indetificativo dell'unità di stoccaggio.	id	
MATERIAL_ID	Identificativo del materiale immagazzinabile nell'unità di stoccaggio.	id	

Tabella 3.22: La tabella *PPO_STORAGE_UNIT_MATERIAL*

All'interno di *PPO* i materiali (tabella 3.17 *PPO_MATERIAL*) sono utilizzati per rappresentare i prodotti finiti, i semilavorati e le materie prime. I materiali possono essere raggruppati in famiglie, una famiglia è creata mediante la tabella 3.18 (*PPO_MATERIAL_FAMILY*), il legame tra materiale e famiglia è fissato dalla tabella 3.19 (*PPO_MATERIAL_FAMILY_MATERIAL*). Le famiglie possono essere utilizzate sia per gestire dei vincoli, sia per scopi di reportistica. Un materiale può appartenere a più famiglie, così come ad una famiglia possono appartenere più materiali. La tabella 3.20 (*PPO_UNIT*) stabilisce per ogni materiale una o più unità

di misura.

Per permettere ad ogni materiale di essere prodotto in anticipo rispetto alla domanda, è necessario dichiarare che è possibile immagazzinarlo all'interno di almeno un'unità di stoccaggio (tabella 3.21 *PPO_STORAGE_UNIT*). Per definire se un materiale può essere stoccato in una data *storage unit*, si deve popolare la tabella 3.22 (*PPO_STORAGE_UNIT_MATERIAL*).

3.3.5 *Master data recipes, activities e modes*

Le tabelle utilizzate per gestire le ricette, le attività e i diversi modi con i quali un'attività può essere eseguita sono riportate in figura 3.5.

Le ricette permettono di modellare i processi produttivi relativi alla fabbricazione di un materiale. Ogni ricetta è costituita da un insieme di attività, quest'ultime rappresentano le varie fasi del processo di produzione che vale la pena modellare in quanto costituiscono dei vincoli.

Una ricetta, è considerata eseguita, se vengono eseguite tutte le differenti attività di cui è composta.

Un'attività, se può essere realizzata in diverse modalità, per esempio perché può essere compiuta su risorse differenti, si dice che possiede più modi o modalità. Un'attività di una ricetta, è ritenuta compiuta, se viene eseguita una volta in una delle modalità tra quelle dichiarate per la stessa attività.

Tutti i modi di una stessa attività sono tra loro equivalenti per quanto riguarda il risultato finale, ma differiscono per come il risultato finale è ottenuto.

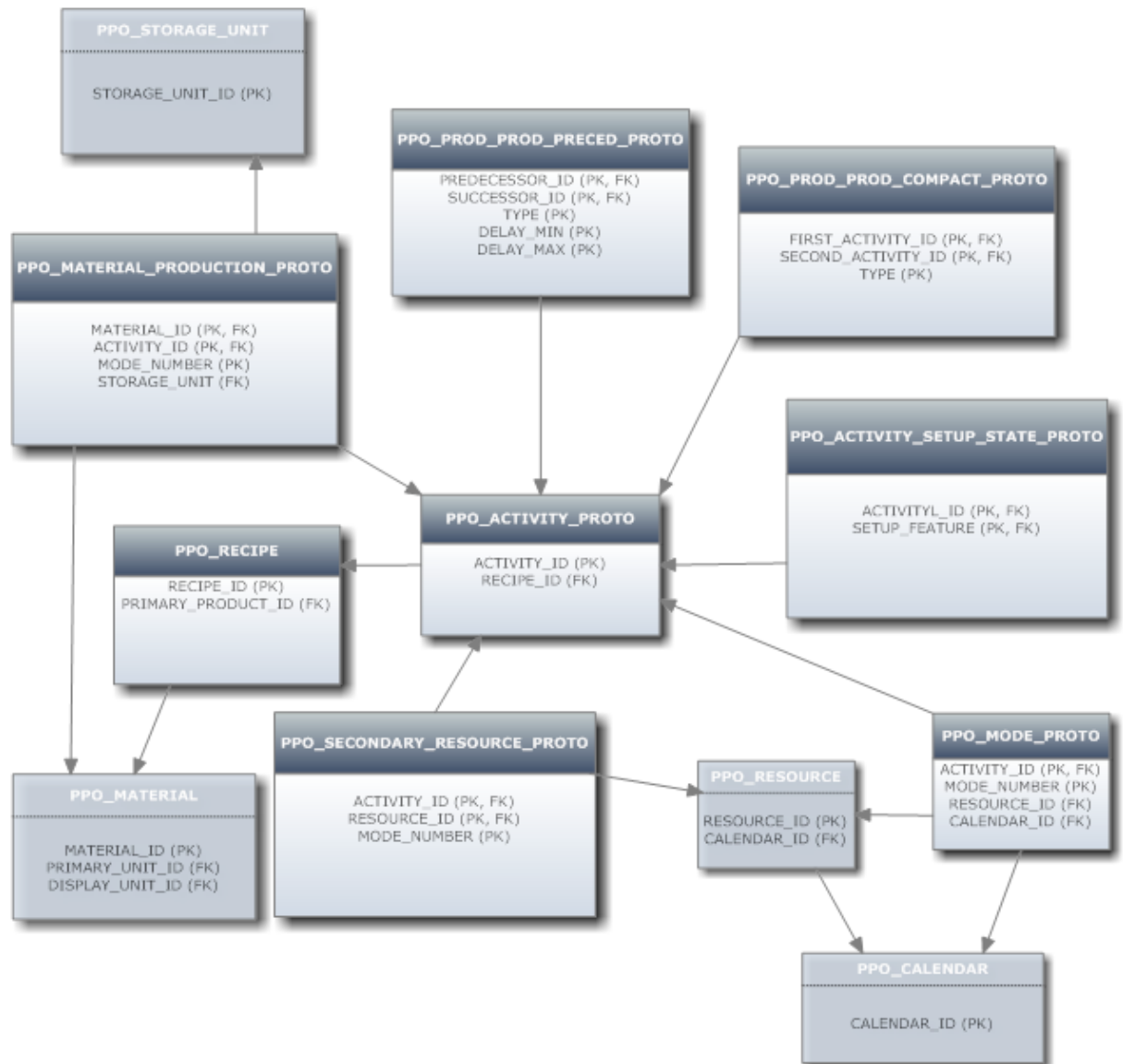


Figura 3.5: Le tabelle utilizzate per gestire le ricette, le attività e le loro modalità

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
RECIPE_ID	Indetificativo della ricetta.	string	Undefined, Make, Order, Fixed, Transport, Automatic [0..1.#INF]
NAME	Descrizione della ricetta.	string	
RECIPE_TYPE	Definisce il tipo della ricetta.	id	
SPLIT_BATCH_SIZE_MIN	Definisce la dimensione minima di un lotto di produzione spezzato su differenti <i>buckets</i> .	double	
BATCH_SIZE_MIN	Definisce la minima dimensione del lotto della ricetta.	double	
BATCH_SIZE_MAX	Definisce la dimansione massima del lotto della ricetta.	double	
START_MIN	Definisce l'istante di tempo dal quale la ricetta può essere utilizzata.	timestamp	
END_MAX	Definice l'istante di tempo da cui la ricetta non può più essere utilizzata.	timestamp	
INTEGER_BATCH_SIZE	Indica se il lotto deve essere un valore intero.	boolean	
PRIMARY_PRODUCT_ID	Identificativo del materiale che viene fabbricato con questa ricetta.	id	

Tabella 3.23: La tabella *PPO_RECIPE*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
ACTIVITY_ID	Indetificativo dell'attività.	string	
NAME	Descrizione dell'attività.	string	
RECIPE_ID	Definisce la ricetta alla quale l'attività appartiene.	id	

Tabella 3.24: La tabella *PPO_ACTIVITY_PROTO*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
ACTIVITY_ID	Indetificativo dell'attività a cui appartiene uno stato di configurazione.	id	
SETUP_FEATURE	Definisce la caratteristica (tipo) a cui si riferiscono le configurazioni.	id	
SETUP_STATE	Definisce lo stato dell'attività per questa caratteristica.	id	

Tabella 3.25: La tabella *PPO_ACTIVITY_SETUP_STATE_PROTO*

Le ricette vengono definite nella tabella 3.23 (*PPO_RECIPE*). Per ogni ricetta è necessario specificare l'insieme dei prototipi di attività da cui è costituita, questo legame è specificato nella tabella 3.24 (*PPO_ACTIVITY_PROTO*). Per ogni attività è possibile definire uno o più vincoli di precedenza con altre attività tramite la tabella 3.26 (*PPO_PROD_PROD_PREC_PROTO*), e uno o più vincoli di compatibilità con altre attività per mezzo della tabella 3.27 (*PPO_PROD_PROD_COMPAT_PROTO*).

Ogni attività può essere soggetta a diversi tempi e costi di configurazione tra-

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
PREDECESSOR_ID	Definisce l'attività predecessore.	id	<i>StartToStart, EndToStart, EndToEnd, StartToEnd</i>
SUCCESSOR_ID	Definisce l'attività successore.	id	
TYPE	Definisce il tipo di vincolo di precedenza.	id	
DELAY_MIN	Definisce il ritardo minimo espresso nell'unità di tempo tra gli istanti rilevanti delle due attività.	int	[0..+INF]
DELAY_MAX	Definisce il ritardo massimo espresso nell'unità di tempo tra gli istanti rilevanti delle due attività.	int	

Tabella 3.26: La tabella *PPO_PROD_PROD_PRECED_PROTO*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
FIRST_ID	Identificativo di un'attività.	id	<i>Connected-Primary-Resources, SameLineId, SamePrimaryResource</i>
SECOND_ID	Identificativo dell'altra attività.	id	
TYPE	Definisce il tipo di vincolo compatibilità.	id	

Tabella 3.27: La tabella *PPO_PROD_PROD_COMPAT_PROTO*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
ACTIVITY_ID	Identificativo dell'attività.	id	[0..+INF]
MODE_NUMBER	Identificativo della modalità.	int	
RESOURCE_ID	Identificativo della risorsa su cui l'attività è eseguita in questo modalità.	id	
FIXED_REQUIRED_CAPACITY	Definisce quantità di capacità richiesta alla <i>resource</i> per svolgere l'attività in questo modalità.	double	[0..1+INF]
FIXED_PROCESSING_TIME_MIN	Definisce il tempo minimo indipendente dal lotto per eseguire l'attività in questo modalità.	int	[0..+INF]
FIXED_PROCESSING_TIME_MAX	Definisce il tempo massimo indipendente dal lotto per eseguire l'attività in questo modalità.	int	[0..+INF]
VARIABLE_PROCESSING_TIME	Definisce la parte di <i>processing time</i> dipendente dal lotto.	double	[0..1.#INF]
START_MIN	Definisce l'istante di tempo da cui è possibile utilizzare attività in questo modalità.	timestamp	
END_MAX	Definisce l'istante di tempo da cui non è più possibile utilizzare l'attività in questo modalità.	timestamp	
CALENDAR_ID	Definisce il <i>calendar</i> a livello di modalità.	id	
SHIFT_BREAKABLE	Definisce se l'attività può essere interrotta da <i>break</i> .	boolean	

Tabella 3.28: La tabella *PPO_MODE_PROTO*

mite l'associazione dell'attività stessa con una o più matrici di configurazione. La tabella 3.25 (*PPO_ACTIVITY_SETUP_STATE_PROTO*) permette di realizzare quanto appena descritto, ossia legando l'attività ad una *feature* (caratteristica), e definendo per l'attività lo stato della *feature*. Una *feature* non è altro che una matrice di configurazione, ma verrà descritta successiva-

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
MATERIAL_ID	Identificativo del materiale prodotto o consumato dall'attività in questa modalità.	id	[0..1.#INF]
ACTIVITY_ID	Identificativo dell'attività.	id	
VARIABLE_QUANTITY	Quantità variabile dipendente dal lotto del materiale prodotta o consumata dall'attività in questa modalità.	double	
FIXED_QUANTITY	Definisce la quantità fissa indipendente dal lotto del materiale prodotta o consumata dall'attività in questo modalità.	double	[0..1.#INF]
CONTINUOS	Definisce se la produzione o il consumo avviene in continuo o a lotti.	boolean	
MODE_NUMBER	Identificativo della modalità.	id	
STORAGE_UNIT_ID	Identificativo dell'unità di stoccaggio in cui può essere immagazzinato o prelevato il materiale.	id	
MAX_NUMBER_OF_PEGGING_ARCS	Definisce il numero massimo di archi di un dato ordine di produzione per questa fabbricazione o consumo di materiale.	int	[0..+INF]

Tabella 3.29: La tabella *PPO_MATERIAL_PRODUCTION_PROTO*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
ACTIVITY_ID	Identificativo l'attività che richiede una risorsa secondaria.	id	[0..1.#INF]
MODE_NUMBER	Identificativo della modalità dell'attività che richiede una risorsa secondaria.	id	
RESOURCE_ID	Identificativo della risorsa utilizzata come risorsa secondaria.	id	
FIXED_REQUIRED_CAPACITY	Definisce la quantità fissa di capacità richiesta alla risorsa secondaria per svolgere l'attività.	double	

Tabella 3.30: La tabella *PPO_SECONDARY_RESOURCE_PROTO*

mente.

La tabella 3.28 (*PPO_MODE_PROTO*) associa ad ogni attività una o più modalità che permettono di eseguire la stessa attività in maniera differente. Le possibili differenze tempistiche possono derivare a seconda della risorsa su cui l'attività è realizzata.

Il flusso dei materiali, inteso come produzione e consumo di prodotti finiti e componenti, è regolato dalle attività, ed è generato per mezzo della tabella 3.29 (*PPO_MATERIAL_PRODUCTION_PROTO*). Per permettere che delle attività eseguite in una certa modalità, sfruttino delle risorse secondarie, è necessario utilizzare la tabella 3.30 (*PPO_SECONDARY_RESOURCE_PROTO*). Una risorsa è considerata secondaria quando è richiesta da un'attività già in esecuzione attraverso una risorsa primaria.

3.3.6 Master data setup times e setup cost

Le tabelle utilizzate per gestire i tempi e i costi di configurazione sono riportate in figura 3.6.

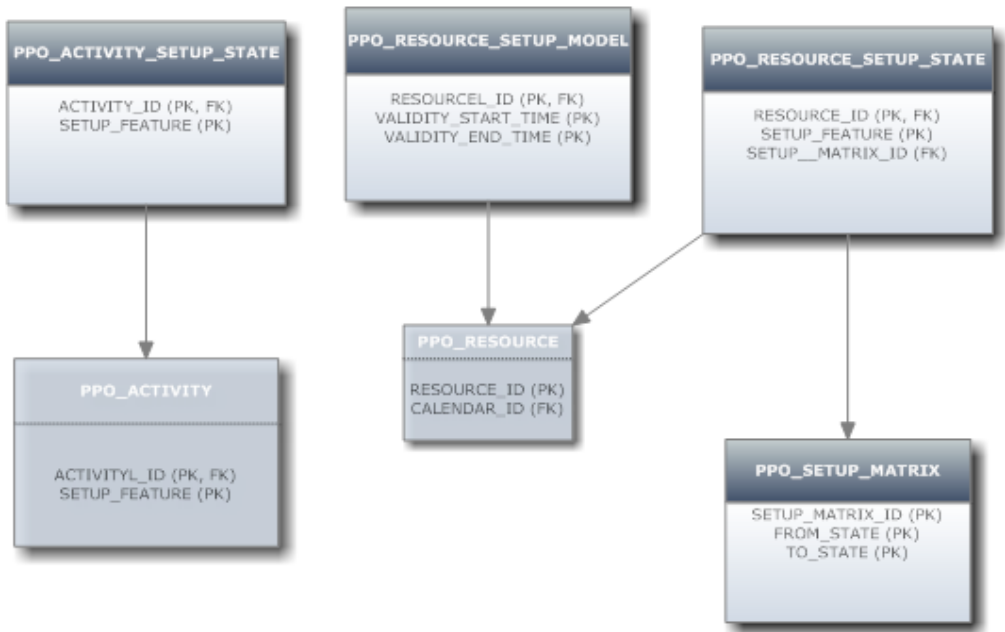


Figura 3.6: Le tabelle utilizzate per gestire i tempi e i costi di configurazione

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
RESOURCE_ID	Identificativo della risorsa su cui occorre gestire le configurazioni.	id	
SETUP_FEATURE	Identificativo della caratteristica, necessaria per collegare l'attività con uno stato della matrice di configurazione.	string	
SETUP_MATRIX_ID	Identificativo della matrice di configurazione.	id	

Tabella 3.31: La tabella PPO_RESOURCE_SETUP_STATE

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
SETUP_MATRIX_ID	Identificativo della matrice di configurazione.	string	
FROM_STATE	Definisce lo stato di partenza della transizione.	string	
TO_STATE	Definisce lo stato finale della transizione.	string	
SETUP_TIME	Definisce il tempo di inattività dovuto a questa transizione.	int	[0..+INF]
SETUP_COST	Definisce il costo da pagare a questa transizione.	double	[0..1#INF]

Tabella 3.32: La tabella PPO_SETUP_MATRIX

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
RESOURCE_ID	Identificativo della risorsa.	string	
VALIDITY_START_TIME	Definisce l'istante di tempo da cui il <i>setup model</i> è attivo.	timestamp	
VALIDITY_END_TIME	Definisce l'istante di tempo dal quale il <i>setup model</i> non è più attivo.	timestamp	
SETUP_MODEL	Definisce il tipo di <i>setup model</i> .	id	<i>NoSetup</i> , <i>PerBucket</i> , <i>PerRecipe</i> , <i>PerBucket</i> , <i>PerFeature</i> , <i>CrossBucketPeFeature</i> , <i>CrossBucketPerRecipe</i> .

Tabella 3.33: La tabella *PPO_RESOURCE_SETUP_MODEL*

Le matrici dei costi e dei tempi di configurazione vengono definite mediante la tabella 3.32 (*PPO_SETUP_MATRIX*). In questa tabella è necessario definire tutte le transizioni di stato, e per ogni transizione il costo da pagare e il tempo perso.

Nella tabella 3.31 (*PPO_RESOURCE_SETUP_STATE*) ad ogni matrice di configurazione viene legata una risorsa ed una caratteristica. Ad ogni risorsa possono essere collegate più matrici di configurazione, in questo caso costi e tempi finali diventano la somma dei costi e dei tempi delle molteplici transizioni.

Ogni attività, di cui è necessario gestire le transizioni di stato, è riportata in tabella 3.26 (*PPO_ACTIVITY_SETUP_STATE_PROTO*). In questa tabella, mediante l'uso della caratteristica, è possibile collegare all'attività uno o più stati (nel caso si debba tenere conto di più matrici). La tabella 3.33 (*PPO_RESOURCE_SETUP_MODEL*) serve per tener conto dei tempi e costi di configurazione durante il problema di pianificazione. Tramite questa tabella si stabilisce su quali risorse bisogna tener conto dei tempi e costi di configurazione in pianificazione, inoltre è possibile scegliere il tipo di approssimazione da utilizzare.

3.3.7 Transactional data demands

La tabella utilizzata per gestire la domanda, e le sue relazioni, sono visibili in figura 3.7.

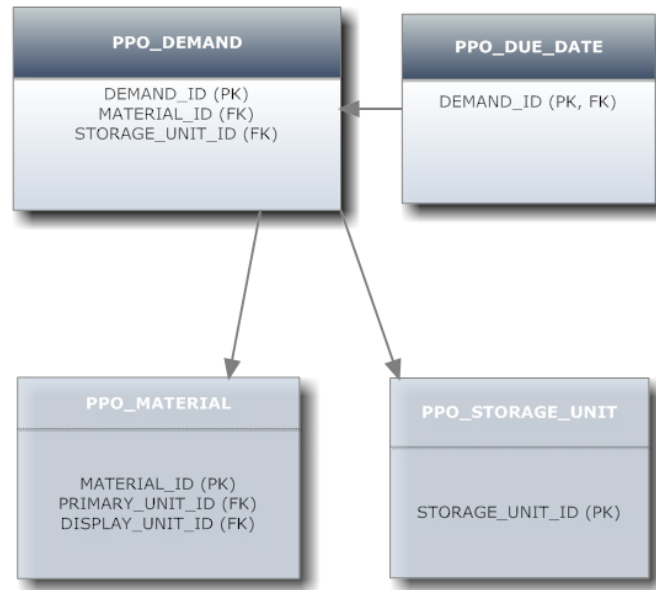


Figura 3.7: Le tabella utilizzata per gestire la domanda

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
DEMAND_ID	Identificativo della domanda.	string	
NAME	Descrizione della domanda.	string	
MATERIAL_ID	Identificativo del materiale richiesto dalla domanda.	id	
STORAGE_UNIT_ID	Identificativo della <i>storage unit</i> da dove il materiale è prelevato.	id	
QUANTITY	Definisce la quantità di materiale richiesto dalla domanda.	double	[0..1.#INF]
DELIVERY_START_MIN	Definisce l'istante di tempo dal quale è possibile soddisfare la domanda. È comunque possibile che la produzione avvenga in anticipo rispetto a questo istante di tempo.	timestamp	
DELIVERY_END_MAX	Definisce l'istante di tempo dal quale la domanda non può più essere soddisfatta.	timestamp	
NON_DELIVERY_VARIABLE_COST	Definisce il costo da pagare per ogni unità di domanda non soddisfatta.	double	[0..1.#INF]
MAX_NUMBER_OF_PEGGING_ARCS	Definisce il numero massimo di archi (legano la domanda agli ordini di produzione) che possono essere utilizzati per soddisfare la domanda.	int	[0..+INF]

Tabella 3.34: La tabella *PPO_DEMAND*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
DEMAND_ID	Identificativo della domanda.	id	
DUE_TIME	Istante di tempo prima del quale si pagano i costi di anticipo, e dopo del quale si pagano i costi di posticipo della domanda .	timestamp	
EARLINESS_FIXED_COST	Costo fisso per unità di domanda soddisfatta prima dell'istante di tempo difinito da <i>DUE_DATE</i> .	double	0..1.#INF]

Tabella 3.35: La tabella *PPO_DUE_DATE*

La tabella 3.34 *PPO_DEMAND* viene utilizzata per definire la domanda. Ogni domanda può far riferimento ad un unico materiale, ed ad un'unica unità di stoccaggio dalla quale il materiale può essere prelevato.

Il valore del costo variabile di insoddisfazione della domanda (*non delivery variable cost*), rappresenta l'incentivo a produrre, più sarà alto questo valore, maggiore sarà la priorità associata alla domanda.

La finestra temporale entro la quale la domanda può essere soddisfatta è il tempo compreso tra *delivery start min* e *delivery end max*. La produzione relativa alla domanda può anche precedere *delivery start min*, ma fino a che non raggiunge quest'ultimo istante, il prodotto rimane in magazzino. Nel tempo successivo a *delivery end max* la domanda non può più essere soddisfatta.

La tabella 3.35 *PPO_DUE_DATE* permette di definire dei costi rispetto al tempo in cui la domanda è soddisfatta, in modo da limitarne anticipi o posticipi, nel nostro caso abbiamo utilizzato questa tabella esclusivamente per limitare gli anticipi.

3.3.8 Transactional data procurements

La tabella utilizzata per gestire le giacenze iniziali, e le sue relazioni, sono visibili in figura 3.8.

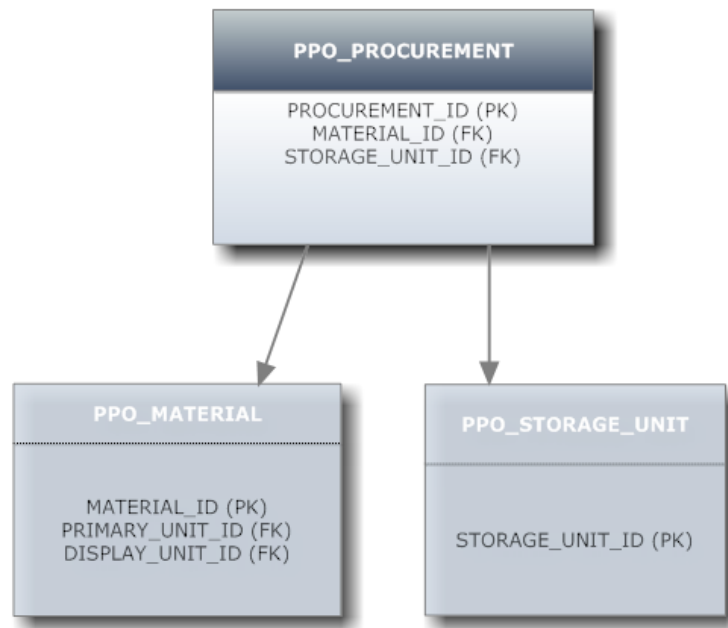


Figura 3.8: Le tabella utilizzata per gestire le giacenze iniziali

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
PROCUREMENT_ID	Identificativo del <i>procurement</i> .	string	[0..1.#INF]
NAME	Descrizione della <i>procurement</i> .	string	
MATERIAL_ID	Identificativo del materiale fornito dal <i>procurement</i> .	id	
STORAGE_UNIT_ID	Identificativo della <i>storage unit</i> dove il materiale è stoccato.	id	
QUANTITY	Definisce la quantità di materiale stoccato nella <i>storage unit</i> .	double	
RECEIPT.TIME	Definisce l'istante di tempo dal quale è possibile utilizzare il materiale fornito dal <i>procurement</i> .	timestamp	

Tabella 3.36: La tabella *PPO-PROCUREMENT*

La tabella 3.36 *PPO_PROCUREMENT* viene utilizzata per definire le giacenze iniziali dei materiali.

I *procurement* possono anche essere utilizzati per simulare un'approvvigionamento dall'esterno, se questo avviene in quantità e tempi costanti. Ogni *procurement* è relativo ad un unico materiale ed ad un'unica unità di stoccaggio.

3.3.9 *Transactional data production plans*

Una volta eseguita l'ottimizzazione della pianificazione dal *production planning module*, la soluzione è salvata nelle tabelle illustrate in figura 3.9. La pianificazione della produzione decide per ogni *bucket* presente nell'orizzonte di pianificazione, quali ricette eseguire, in che quantità e in che modo eseguire le attività di cui la ricetta è composta.

Inoltre, viene deciso per ogni domanda che viene almeno parzialmente adempiuta, quando viene soddisfatta, ovvero in quale *bucket* il materiale richiesto dalla domanda è prelevato dal magazzino.

Tutte queste decisioni vengono prese calcolando per ogni risorsa, in base al suo calendario, l'energia di cui dispone in ogni *bucket*. Per ogni risorsa, in ogni *bucket* viene pianificata l'esecuzione di un insieme di ricette, la cui somma richiede un'energia minore o uguale a quella disponibile nel *bucket*.

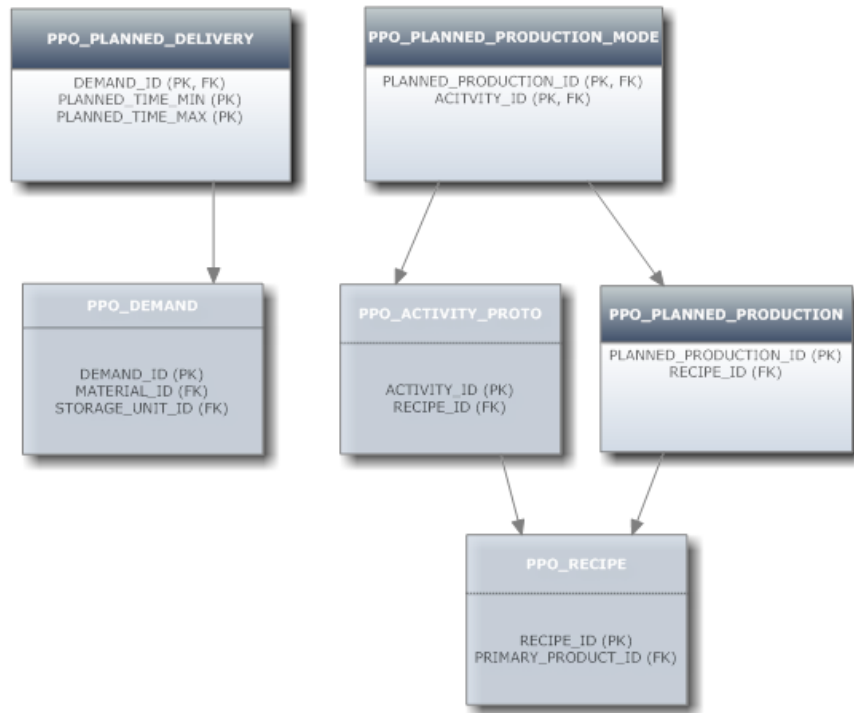


Figura 3.9: Le tabelle utilizzate per salvare la soluzione del problema di pianificazione

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
PLANNED_PRODUCTION_ID	Identificativo della <i>planned production</i> .	string	
RECIPE_ID	Identificativo della ricetta pianificata.	string	
PLANNED_TIME_MIN	Definisce un istante di tempo minimo approssimativo in cui la <i>planned production</i> è pianificata.	timestamp	
PLANNED_TIME_MAX	Definisce un istante di tempo massimo approssimativo in cui la <i>planned production</i> è pianificata.	timestamp	
BATCH_SIZE	Definisce la quantità della ricetta pianificata.	double	[0..1.#INF]
PLANNED_NUMBER_OF_BATCHES	Definisce il numero di <i>batches</i> pianificato per questa <i>planned production</i> .	int	[0..+INF]
FIRM_BATCH_SIZE_MIN	Definisce il vincolo di quantità minima del <i>batch</i> .	double	[0..1.#INF]
FIRM_BATCH_SIZE_MAX	Definisce il vincolo di quantità massima del <i>batch</i> .	double	[0..1.#INF]

Tabella 3.37: La tabella *PPO_PLANNED_PRODUCTION*

Nella tabella 3.37 (*PPO_PLANNED_PRODUCTION*) vengono inserite tutte le produzioni pianificate per tutto l'orizzonte di pianificazione. Ogni produzione pianificata appartiene ad un certo *bucket*, che è rappresentato dai limiti di tempo espressi mediante *planned time min* e *planned time max*. L'intervallo di tempo all'interno del quale è pianificata una produzione rap-

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
PLANNED_PRODUCTION_ID	Identificativo della <i>planned production</i> .	id	[0..+INF]
ACTIVITY_ID	Identificativo dell'attività pianificata appartenente alla <i>planned production</i> .	id	
MODE_NUMBER	Definisce il modalità con cui l'attività è stata pianificata.	int	

Tabella 3.38: La tabella *PPO_PLANNED_PRODUCTION_MODE*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
DEMAND_ID	Identificativo della domanda.	id	[0..1.#INF]
PLANNED_TIME_MIN	Definisce un limite di tempo minimo approssimativo nel quale si è supposto di soddisfare la domanda. Questo istante di tempo coincide con l'istante di inizio di un <i>bucket</i> .	timestamp	
PLANNED_TIME_MAX	Definisce limite massimo approssimativo nel quale si è supposto di soddisfare la domanda. Questo istante di tempo coincide con l'istante di inizio di un <i>bucket</i> .	timestamp	
QUANTITY	Definisce la quantità di materiale che è stato pianificato per la domanda.	double	

Tabella 3.39: La tabella *PPO_PLANNED_DELIVERY*

presenta una preferenza per la fase di scheduling, ma è anche possibile considerarlo come vincolo.

Nella tabella 3.38 (*PPO_PLANNED_PRODUCTION_MODE*) viene memorizzata, per ogni produzione pianificata, la modalità con la quale sono eseguite tutte le attività che appartengono alla ricetta richiesta.

Infine nella tabella 3.39 (*PPO_PLANNED_DELIVERY*) viene salvato, per ogni domanda, un'intervallo di tempo nel quale la domanda dovrebbe essere soddisfatta. Anche in questo caso si tratta di una preferenza per la fase di scheduling che può anche diventare un vincolo.

3.3.10 *Transactional data production orders*

Nella fase successiva alla pianificazione della produzione, il *batching module* ha il compito di generare gli ordini di produzione e il flusso dei materiali. Le tabelle nelle quali vengono salvate gli ordini di produzione sono rappresentate in figura 3.10.

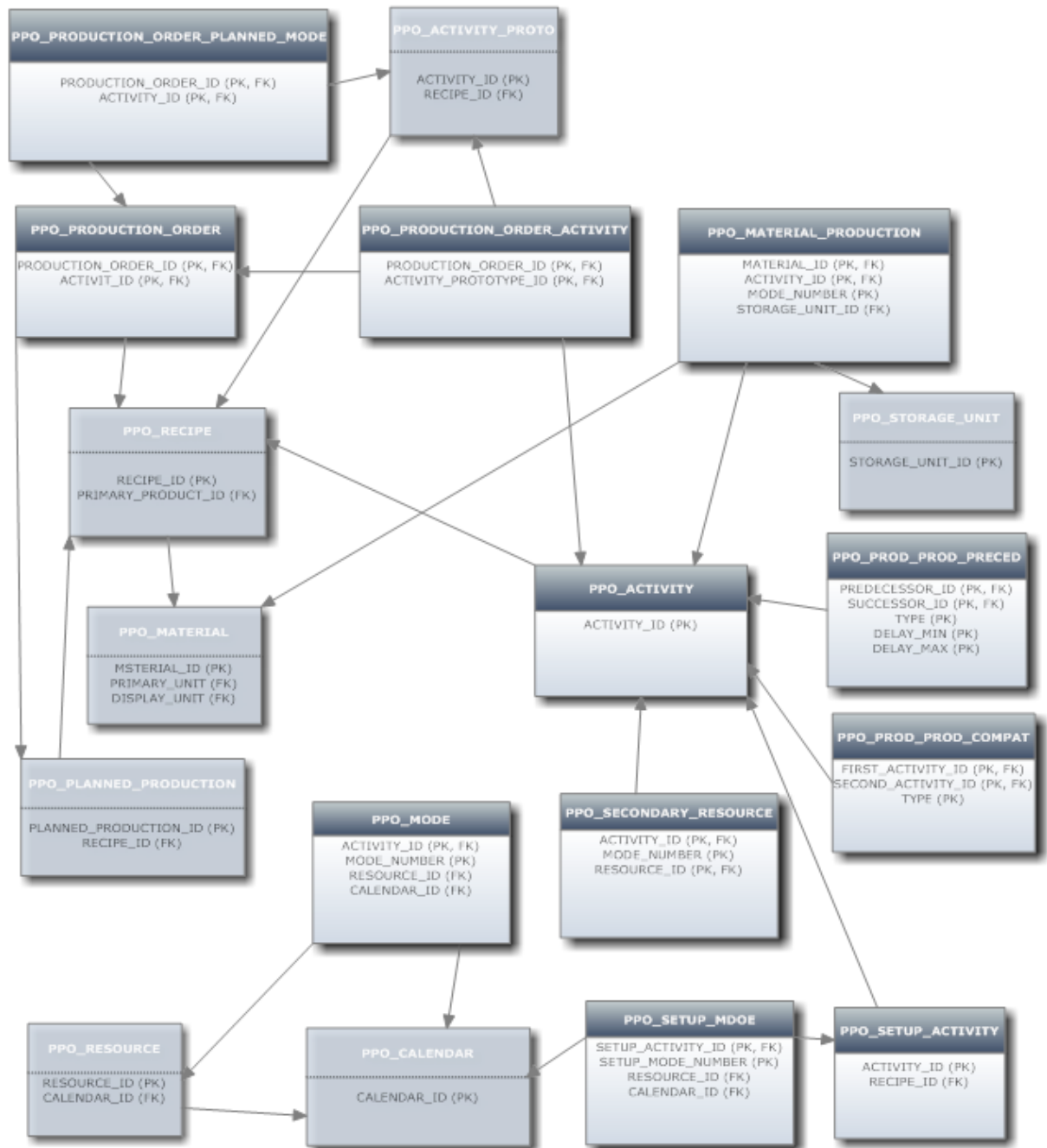


Figura 3.10: Le tabella utilizzate per salvare gli ordini di produzione

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
PRODUCTION_ORDER_ID	Identificativo dell'ordine di produzione.	id	[0..1.#INF]
ACTIVITY_PROTOTYPE	Identificativo del prototipo dell'attività della ricetta a cui fa riferimento l'ordine di produzione.	id	
MODE_NUMBER	L'indice della modalità è deciso in fase di pianificazione.	int	

Tabella 3.40: La tabella *PPO_PRODUCTION_ORDER_PLANNED_MODE*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
PRODUCTION_ORDER_ID	Identificativo dell'ordine di produzione.	string	[0..1.#INF]
NAME	Descrizione dell'ordine di produzione.	string	
RECIPE_ID	È la ricetta implementata dall'ordine di produzione.	id	
PLANNED_PRODUCTION_ID	Identificativo del <i>planned production</i> .	id	
EDITABLE	Definisce se è possibile modificare interattivamente la dimensione del lotto e le sue attività.	boolean	
FIRMING_EDITABLE	Definisce se è possibile modificare interattivamente la dimensione del lotto.	boolean	
FIRM_BATCH_SIZE_MIN	Definisce il vincolo di lotto minimo dell'ordine di produzione.	double	
FIRM_BATCH_SIZE_MAX	Definisce il vincolo di lotto massimo dell'ordine di produzione.	double	
START_MIN	Definisce l'istante di tempo da cui l'ordine di produzione può essere eseguito.	timestamp	
END_MAX	Definisce l'istante di tempo da cui l'ordine di produzione non può più essere eseguito.	timestamp	
PLANNED_TIME_MIN	È l'istante di tempo che costituisce il limite minimo dell'intervallo di tempo deciso in pianificazione per l'esecuzione dell'ordine di produzione.	timestamp	
PLANNED_TIME_MAX	È l'istante di tempo che costituisce il limite massimo dell'intervallo di tempo deciso in pianificazione per l'esecuzione dell'ordine di produzione.	timestamp	
STATUS	È lo stato dell'ordine di produzione da cui dipende la possibilità di modifica dell'ordine di produzione stesso.	id	

Tabella 3.41: La tabella *PPO_PRODUCTION_ORDER*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
PRODUCTION_ORDER_ID	Identificativo dell'ordine di produzione.	id	
ACTIVITY_PROTOTYPE	Identificativo del prototipo dell'attività.	id	
ACTIVITY_ID	Identificativo dell'attività istanziata dal prototipo dell'attività.	string	

Tabella 3.42: La tabella *PPO_PRODUCTION_ORDER_ACTIVITY*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
ACTIVITY_ID	Identificativo dell'attività istanziata.	id	
NAME	Descrizione dell'attività.	string	

Tabella 3.43: La tabella *PPO_ACTIVITY*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
FIRST_ACTIVITY_ID	Identificativo di un' attività istanziata.	id	
SECOND_ACTIVITY_ID	Identificativo dell' altra attività istanziata.	id	
TYPE	Tipo di vincolo di precedenza.	id	<i>Connected-Primary-Resources, SameLineId, SamePrimaryResource</i>

Tabella 3.44: La tabella *PPO_PROD_PROD_COMPAT*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
PREDECESSOR_ID	Identificativo dell' attività predecessore istanziata.	id	
SUCCESSOR_ID	Identificativo dell' attività successore istanziata.	id	
TYPE	Tipo di vincolo di precedenza.	id	<i>StartToStart, EndToStart, StartToEnd, EndToEnd</i>
DELAY_MIN	Limite minimo di tempo tra la successione delle due attività.	int	
DELAY_MAX	Limite massimo di tempo tra la successione delle due attività.	int	<i>[0..+INF]</i>

Tabella 3.45: La tabella *PPO_PROD_PROD_PRECED*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
ACTIVITY_ID	Identificativo dell'attività istanziata alla quale la modalità appartiene.	id	
MODE_NUMBER	L'indice della modalità con cui è istanziata l'attività.	int	[0..+INF]
NAME	Descrizione della modalità dell'attività.	string	
RESOURCE_ID	Identificativo della risorsa richiesta dalla modalità con cui è istanziata l'attività.	id	
FIXED_REQUIRED_CAPACITY	È la quantità di capacità richiesta alla risorsa per svolgere l'attività in questa modalità.	int	[0..+INF]
PROCESSING_TIME_MIN	È il limite minimo del tempo di processo indipendente dalla dimensione del lotto.	int	[0..+INF]
PROCESSING_TIME_MAX	È ' il limite massimo del tempo di processo indipendente dalla dimensione del lotto.	int	[0..+INF]
START_MIN	Stabilisce l'istante di tempo da cui l'attività in questa modalità può iniziare ad essere eseguita.	timestamp	
START_MAX	Stabilisce l'istante di tempo ultimo da cui l'attività in questa modalità può iniziare ad essere eseguita.	timestamp	
END_MIN	Stabilisce l'istante di tempo minimo in cui l'attività in questa modalità può terminare.	timestamp	
END_MAX	Stabilisce l'istante di tempo massimo dopo del quale l'attività in questa modalità non può più terminare.	timestamp	
CALENDAR_ID	Identificativo del calendario associato all'attività in questa modalità.	id	
SHIFT_BREAKABLE	Stabilisce se l'attività in questo modalità può essere interrotta da un <i>break</i> .	boolean	
BATCH_SIZE_MIN	Rappresenta la dimensione minima del lotto per l'attività in questa modalità.	double	[0..1.#INF]
BATCH_SIZE_MAX	Rappresenta la dimensione massima del lotto per l'attività in questa modalità.	double	[0..1.#INF]
FIX_PROCESSING_TIME_MIN_PROTO	È il limite minimo del tempo fisso di processo indipendente dalla dimensione del lotto definito a livello di prototipo della modalità con cui l'attività può essere istanziata.	double	[0..1.#INF]
FIX_PROCESSING_TIME_MAX_PROTO	È il limite massimo del tempo fisso di processo indipendente dalla dimensione del lotto definito a livello di prototipo della modalità con cui l'attività può essere istanziata.	double	[0..1.#INF]
VARIABLE_PROCESSING_TIME_PROTO	È la parte del tempo di processo dipendente dalla dimensione del lotto definita a livello di prototipo della modalità con cui l'attività può essere istanziata.	double	[0..1.#INF]

Tabella 3.46: La tabella *PPO_MODE*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
MATERIAL_ID	Identificativo del materiale prodotto o consumato.	id	
ACTIVITY_ID	Identificativo dell'attività che produce o consuma il materiale.	int	[0..+INF]
PRODUCED_QUANTITY	È la quantità di materiale prodotta per l'esecuzione di un lotto di quantità uno della ricetta corrispondente.	double	[0..1.#INF]
CONTINUOS	Definisce se la produzione o consumo avviene in continuo o a lotti.	boolean	
MODE_NUMBER	È l'indice del modalità dall'attività che consuma o produce del materiale.	int	[0..+INF]
STORAGE_UNIT	Identificativo dell'unità di stoccaggio da cui si preleva o immagazzina il materiale.	id	
MAX_NUMBER_OF_PEGGING_ARCS	Stabilisce il numero massimo di archi che collegano gli ordini di produzione ad altri ordini di produzione o alla domanda.	int	[0..+INF]
VARIABLE_QUANTITY_PROTO	È la quantità prodotta o consumata per l'esecuzione di un lotto di quantità uno della ricetta, definita a livello di prototipo.	double	[0..1.#INF]
FIXED_QUANTITY_PROTO	È la quantità fissa prodotta o consumata per l'esecuzione di un lotto della ricetta, definita a livello di prototipo.	double	[0..1.#INF]

Tabella 3.47: La tabella *PPO_MATERIAL_PRODUCTION*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
ACTIVITY_ID	Identificativo dell'attività istanziata.	id	
MODE_NUMBER	Indice della modalità dell'attività istanziata.	int	[0..+INF]
RESOURCE_ID	Identificativo della risorsa secondaria richiesta dall'attività.	id	
FIXED_REQUIRED_CAPACITY	Rappresenta la quantità di capacità richiesta dall'attività istanziata.	int	[0..+INF]

Tabella 3.48: La tabella *PPO_PROD_SECONDARY_RESOURCE*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
ACTIVITY_ID	Identificativo della <i>setup activity</i> istanziata.	id	
NAME	Descrizione della <i>setup activity</i> .	string	
PRODUCTION_ACTIVITY_ID	Identificativo della <i>production activity</i> alla quale la <i>setup activity</i> appartiene.	id	

Tabella 3.49: La tabella *PPO_SETUP_ACTIVITY*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
SETUP_ACTIVITY_ID	Identificativo della <i>setup activity</i> istanziata.	id	[0..+INF]
MODE_NUMBER	L'indice della modalità con cui è eseguita la <i>setup activity</i> .	int	
NAME	Descrizione della modalità della <i>setup activity</i> .	string	
RESOURCE_ID	Identificativo della risorsa richiesta dalla modalità.	id	
FIXED_REQUIRED_CAPACITY	La quantità di capacità richiesta dalla risorsa per svolgere l'attività in questa modalità.	int	
START_MIN	Stabilisce l'istante di tempo da cui <i>lassetup activity</i> in questa modalità può iniziare ad essere eseguita.	timestamp	
START_MAX	Stabilisce l'istante di tempo ultimo da cui <i>lassetup activity</i> in questa modalità può iniziare ad essere eseguita.	timestamp	
END_MIN	Stabilisce l'istante di tempo minimo da cui <i>lassetup activity</i> in questa modalità può terminare.	timestamp	
END_MAX	Stabilisce l'istante di tempo massimo in cui <i>lassetup activity</i> in questa modalità può terminare.	timestamp	
CALENDAR_ID	Identificativo del calendario associato alla <i>lassetup activity</i> in questa modalità.	id	
SHIFT_BREAKABLE	Stabilisce se <i>lassetup activity</i> in questa modalità può essere interrotta da <i>break</i> .	boolean	

Tabella 3.50: La tabella *PPO_SETUP_MODE*

Un ordine di produzione rappresenta l'implementazione di una ricetta, ovvero l'istanza necessaria per eseguire un processo di produzione. Nella tabella 3.40 (*PPO_PROD_ORDER_PLANNED_MODE*) viene memorizzata la scelta del *planning engine* riguardo gli ordini di produzione pianificati. Per ogni ordine di produzione sono presenti tutte le attività necessarie per compierlo nella modalità pianificata, il tutto ancora a livello di prototipo in quanto ancora nulla è stato effettivamente eseguito.

Nella tabella 3.41 (*PPO_PRODUCTION_ORDER*) vengono salvati gli ordini di produzione eseguiti, che equivale all'istanziamento delle attività di cui ogni ordine di produzione è composto. Con un ordine di produzione vengono fabbricati dei semilavorati o dei prodotti finiti.

La tabella 3.42 (*PPO_PRODUCTION_ORDER_ACTIVITY*) mantiene il legame tra gli ordini di produzione e le attività che lo compongono.

Nella tabella 3.43 (*PPO_ACTIVITY*) sono contenute tutte le attività istanziate escluse le *setup activity*, che sono invece riposte nella tabella 3.49 (*PPO_SETUP_ACTIVITY*).

Le modalità con le quali le attività vengono eseguite, sono mantenute per le attività di produzione nella tabella 3.46 (*PPO_MODE*), mentre per le *setup activity* è utilizzata la tabella 3.50 (*PPO_SETUP_MODE*).

Le tabella 3.44 (*PPO_PROD_PROD_COMPAT*) contiene tutte le attività istanziate soggette a vincoli di compatibilità. Allo stesso modo la tabella 3.45 (*PPO_PROD_PROD_PRECED*) mantiene tutte le attività istanziate soggette a vincoli di precedenza.

In ultima analisi, la tabella 3.48 (*PPO_SECONDARY_RESOURCE*) memorizza tutte quelle attività istanziate che richiedono l'utilizzo di ulteriori risorse, oltre a quella primaria.

3.3.11 Transactional data material flow

Il *batching module* deve creare degli ordini di produzione che, oltre a rispettare i vincoli di lotto, rispettino anche i vincoli di flusso dei materiali. Le tabelle in cui viene memorizzata la soluzione del problema di flusso dei materiali sono visibili in figura 3.11.

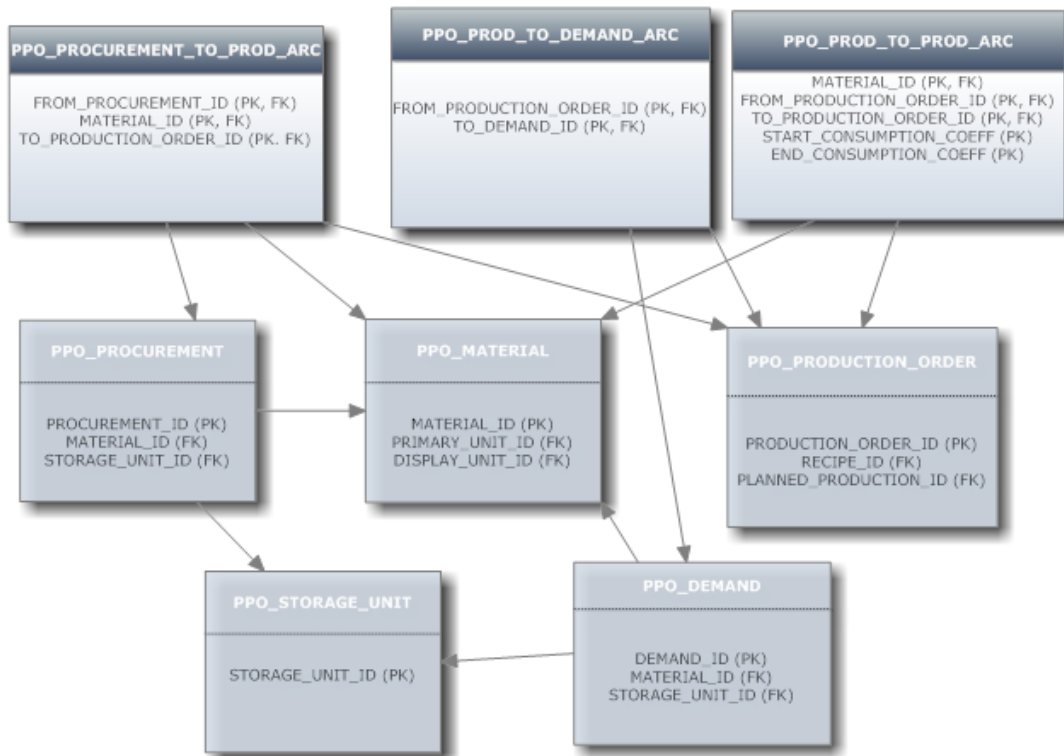


Figura 3.11: Le tabelle utilizzate per salvare il flusso dei materiali

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
NAME	Descrizione del flusso.	string	
MATERIAL_ID	Identificatore del materiale soggetto al flusso.	id	
QUANTITY	Quantità del materiale soggetta al flusso.	double	[0..1.#INF]
FIRM_QUANTITY_MIN	Se è diverso da zero significa che l'arco non può essere abbandonato.	double	[0..1.#INF]
FIRM_QUANTITY_MAX	Se è diverso da +INF significa che l'arco non può essere abbandonato.	double	[0..1.#INF]
FROM_PROCURMENT_ID	Identificativo del <i>procurement</i> da cui ha origine l'arco.	id	
TO_PRODUCTION_ORDER_ID	Identificativo dell'ordine di produzione su cui incide l'arco.	id	

Tabella 3.51: La tabella *PPO_PROCURMENT_TO_PROD_ARC*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
NAME	Descrizione del flusso.	string	
MATERIAL_ID	Identificatore del materiale soggetto al flusso.	id	
QUANTITY	Quantità del materiale soggetta al flusso.	double	[0..1.#INF]
FIRM_QUANTITY_MIN	Se è diverso da zero significa che l'arco non può essere abbandonato.	double	[0..1.#INF]
FIRM_QUANTITY_MAX	Se è diverso da +INF significa che l'arco non può essere abbandonato.	double	[0..1.#INF]
FROM_PROCURMENT_ORDER_ID	Identificativo dell'ordine di produzione di origine.	id	
TO_PRODUCTION_ORDER_ID	Identificativo dell'ordine di produzione su cui incide l'arco.	id	

Tabella 3.52: La tabella *PPO_PROD_TO_PROD_ARC*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
NAME	Descrizione del flusso.	string	
FROM_PROCURMENT_ORDER_ID	Identificativo dell'ordine di produzione da cui ha origine l'arco.	id	
TO_DEMAND_ID	Identificativo della domanda su cui incide l'arco.	id	
QUANTITY	Quantità del materiale soggetta al flusso.	double	[0..1.#INF]
FIRM_QUANTITY_MIN	Se è diverso da zero significa che l'arco non può essere abbandonato.	double	[0..1.#INF]
FIRM_QUANTITY_MAX	Se è diverso da +INF significa che l'arco non può essere abbandonato.	double	[0..1.#INF]

Tabella 3.53: La tabella *PPO_PROD_TO_DEMAND_ARC*

Il *batching module* struttura il flusso dei materiali partendo dalle materie prime, passando per i semilavorati fino ad arrivare ai prodotti finiti richiesti dalla domanda.

Nella tabella 3.51 (*PPO_PROCURMENT_TO_PROD_ARC*) sono memorizzati gli archi che stabiliscono il flusso tra le giacenze iniziali o gli approvvigionamenti (costanti) e gli ordini di produzione: questo è un caso di materiale consumato dall'ordine di produzione.

In tabella 3.52 (*PPO_PROD_TO_PROD_ARC*) sono contenuti gli archi che gestiscono il flusso dei materiali tra gli ordini di produzione. In questo caso

il materiale fabbricato è un semilavorato che viene consumato per un semilavorato di livello superiore, o per un prodotto finito.

Gli archi che governano il flusso di materiali e che soddisfano la domanda sono mantenuti in tabella 3.53 (*PPO_PROD_TO_DEMAND_ARC*).

3.3.12 Transactional data production schedule

Lo *scheduling module* ha il compito di assegnare un preciso istante di inizio e di fine alle attività dei vari ordini di produzione secondo gli obiettivi perseguiti. Le tabelle in cui viene memorizzata la soluzione del problema di scheduling sono mostrate in figura 3.12.

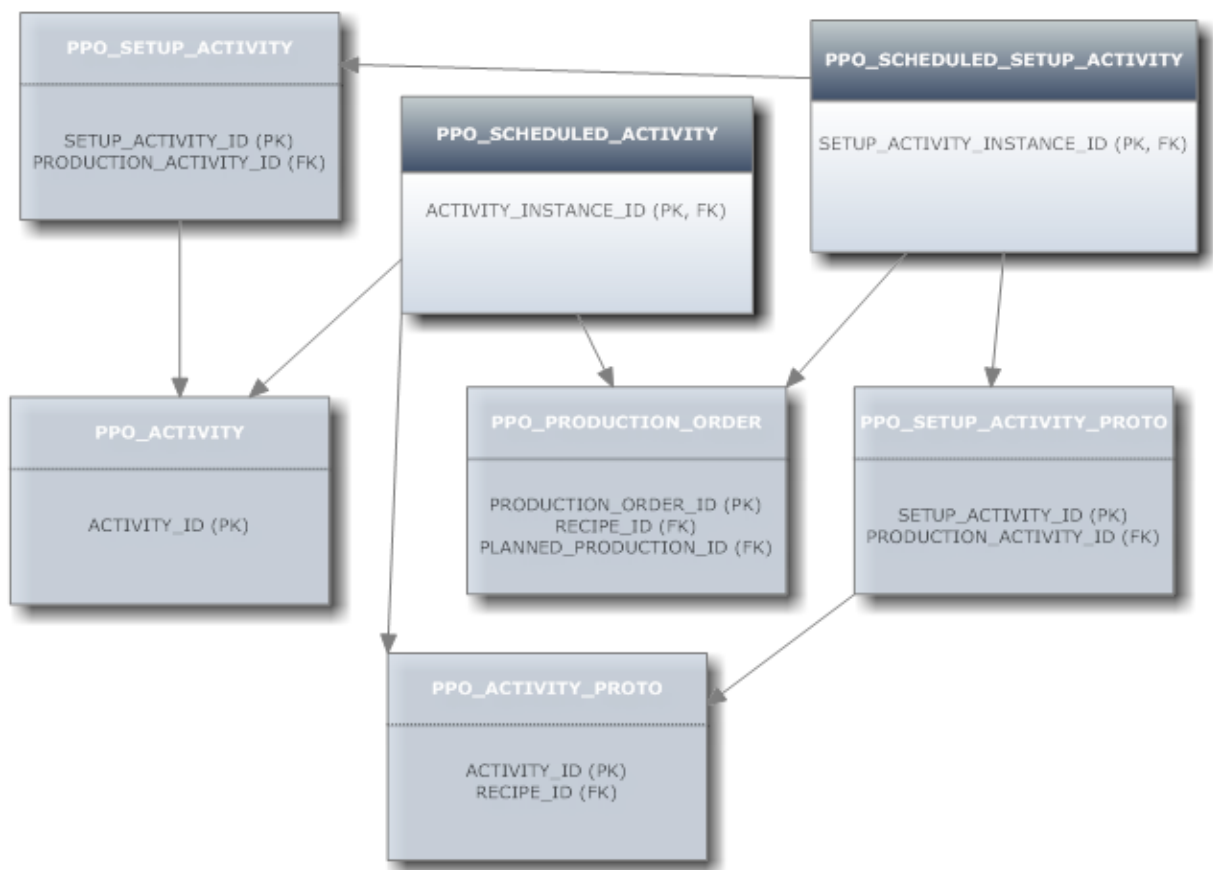


Figura 3.12: Le tabelle utilizzate per salvare il flusso dei materiali

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
ACTIVITY_INSTANCE_ID	Identificativo dell' attività istanziata.	id	[0..+INF]
MODE_NUMBER	Indice della modalità con cui attività è istanziata.	int	
START_TIME	L'istante di tempo da cui ha inizio l'attività sequenziata.	timestamp	
END_TIME	L'istante di tempo in cui finisce l'attività sequenziata.	timestamp	[-1..+INF]
FIRM_MODE_NUMBER	Se è diverso da -1 significa che la modalità con cui è eseguita l'attività non può più essere modificata.	int	
FIRM_START_MIN	Definisce l'istante di tempo da cui attività può iniziare.	timestamp	
FIRM_END_MIN	Definisce l'istante di tempo minimo prima del quale l' attività non può terminare.	timestamp	
FIRM_START_MAX	Definisce l'istante di tempo ultimo prima del quale l' attività non può iniziare.	timestamp	
FIRM_END_MAX	Definisce l'istante di tempo massimo dopo del quale l' attività non può più terminare.	timestamp	

Tabella 3.54: La tabella *PPO_SCHEDULED_ACTIVITY*

Nome del campo	Descrizione	Tipo	Range
SETUP_ACTIVITY_INSTANCE_ID	Identificativo della <i>setup activity</i> istanziata.	id	[0..+INF]
MODE_NUMBER	Indice della modalità con cui <i>lasetup activity</i> è istanziata.	int	
START_TIME	L'istante di tempo da cui inizia la <i>setup activity</i> sequenziata.	timestamp	
END_TIME	L'istante di tempo in cui termina <i>lasetup activity</i> sequenziata.	timestamp	[-1..+INF]
FIRM_MODE_NUMBER	Se è diverso da -1 significa che la modalità con cui è eseguita l'attività non può più essere modificata.	int	
FIRM_START_MIN	Definisce l'istante di tempo dopo il quale la <i>setup activity</i> può iniziare.	timestamp	
FIRM_END_MIN	Definisce l'istante di tempo prima del quale la <i>setup activity</i> non può terminare.	timestamp	
FIRM_START_MAX	Definisce l'istante di tempo ultimo dopo del quale la <i>setup activity</i> non può iniziare.	timestamp	
FIRM_END_MAX	Definisce l'istante di tempo massimo dopo del quale la <i>setup activity</i> non può più terminare.	timestamp	

Tabella 3.55: La tabella *PPO_SCHEDULED_SETUP_ACTIVITY*

La tabella 3.54 (*PPO_SCHEDULED_ACTIVITY*) memorizza la soluzione del problema di scheduling, per quanto riguarda le attività degli ordini di produzione eseguiti.

Le *setup activity* relative agli ordini di produzione eseguiti sono invece contenute nella tabella 3.55 (*PPO_SETUP_SCHEDULED_ACTIVITY*).

Capitolo 4

Il modello

In questo capitolo verranno descritte la fasi di raccolta e di trasformazione dei dati, verranno ripercorsi i passi che hanno portato alla creazione del modello, saranno presentate le simulazioni effettuate e i risultati ottenuti.

4.1 La fase di raccolta e trasformazione dati

La fase di raccolta dati è stata svolta a diretto contatto con l'*SCM* di Whirlpool e i responsabili dello stabilimento di Poprad. Nel caso di dati disponibili in formato elettronico, abbiamo concordato una fornitura tramite fogli di calcolo di Microsoft Excel, nei casi in cui i dati richiesti non erano disponibili nel formato elettronico, abbiamo ovviato al problema mediante degli incontri, diretti o telefonici, durante i quali abbiamo preso appunti.

Nel caso di mancanza di disponibilità dei dati necessari, il contratto prevedeva la possibilità di utilizzare delle assunzioni.

Durante questa fase di raccolta dati, tutto ciò che si dovrebbe modellare (analizzato nel capitolo 2) poiché costituisce un vincolo o un obiettivo, viene valutato in riferimento ai suoi dati disponibili e viene deciso se rappresentare una certa caratteristica e in che modo rappresentarla.

In seguito verrà mostrato come sono stati ottenuti i dati in ingresso per *PPO*, e facendo riferimento all'analisi dei vincoli del capitolo 2, verranno esposti i dati o le assunzioni utilizzate per gestire ogni vincolo e obiettivo.

4.1.1 I dati in ingresso a *PPO*

La domanda per *PPO* è costituita dalla soluzione generata da *SAP APO*, non proprio la stessa che viene inviata allo stabilimento, ma con l'aggiunta di opportune modifiche, in modo che si potesse ristabilire la giusta priorità ad ogni quantità di domanda.

Il piano generato quotidianamente da *SAP APO* è una tabella di circa 3000 righe contenente la domanda per il periodo congelato (6 giorni), e per le successive 13 settimane lavorative.

Il piano generato da *SAP APO* con i soli campi utili per creare i dati in ingresso a *PPO* è mostrato in tabella 4.1.

ORDINE	QUANTITÀ TOTALE	QUANTITÀ BTO	QUANTITÀ SUP	PRODOTTO	GIORNO DI PRODUZIONE	PERIODO CONGELATO
9495124406	168	40	0	858410429092	29/06/2010	sì
9495125106	123	0	0	858410429010	8/07/2010	no
9495124507	38	0	29	853610457060	2/07/2010	sì

Tabella 4.1: Il piano SAP APO

Per generare i dati in ingresso a *PPO*, è stato necessario disaggregare le informazioni del piano di *SAP APO* in modo da generare un unico record per ogni tipologia di domanda avente quantità diversa da 0, ovviamente gestendo opportunamente le quantità in modo da non creare incongruenze tra le due diverse strutture delle stesse informazioni.

4.1.2 Il vincolo dei calendari

Le risorse che abbiamo considerato necessarie per il modello sono: la linea per la produzione dei cestelli delle *FL* (*DRUM_FL* nella terminologia del modello), le 4 linee di assemblaggio finale (*ZE_PF34_21*, *ZE_PF34_22*, *ZE_PF34_23*, *ZE_PF34_24* nella terminologia del modello) e una risorsa logica che ha il compito di risolvere l'impossibilità di utilizzare contemporaneamente le due linee di assemblaggio finale delle *TL* per la produzione dei modelli per Hong Kong (*MANPOWER_HONGKONG* nella terminologia del modello).

Ognuna di queste risorse è attiva nella realtà secondo giorni e orari definiti da un'apposito calendario.

Il calendario della risorsa *DRUM_FL*

Ci è stato riferito che attualmente la risorsa *DRUM_FL* è attiva per due turni giornalieri, nelle fasce orarie 6-14 e 14-22 dal lunedì al sabato esclusi i gironi festivi, che sono deducibili dal calendario delle risorse di assemblaggio finale della categoria *FL* (*ZE_PF34_23*, *ZE_PF34_24*). Per quanto riguarda l'efficienza non ci è stata riferita alcuna variazione, quindi è assunta come costante.

Il calendario delle risorse di assemblaggio finale

Per tutte le risorse di assemblaggio finale ci è stata fornita una tabella che permette di dedurre il numero di turni giornalieri per i quali la risorsa è attiva, e l'efficienza da cui dipende la velocità della produzione. Per la risorsa *ZE_PF34_24* il discorso è leggermente diverso.

I dati, scremati di tutti i campi superflui, sono riportati in tabella 4.2.

RISORSA	DATA	PEZZI PER GIORNO
ZE_PF34_21	28/06/2010	1862
ZE_PF34_21	29/06/2010	2093
ZE_PF34_21	30/06/2010	2093

Tabella 4.2: La capacità giornaliera delle risorse

Il *numero di turni* per ogni linea l'abbiamo ricavato dal rapporto tra *pezzi per giorno* e la *capacità massima per turno*. Quest'ultimo è un dato che ci è stato fornito dallo stabilimento.

Se il risultato del rapporto è un valore minore di 1.5, è stabilito che la risorsa è attiva per 1 turno, se il valore è compreso tra 1.5 e 2.5, la risorsa è attiva per due turni, altrimenti il numero turni per cui è attiva sono tre.

Il turno è legato staticamente ad un fascia, ovvero se una risorsa è attiva per un turno, la fascia oraria corrispondente sarà sempre quella 6-14, se la risorsa è attiva per due turni, oltre alla fascia 6-14, la risorsa sarà attiva anche nella fascia 14-22 e così via. L'efficienza per turno per ogni risorsa è invece calcolata come rapporto tra la *capacità per turno* e la *capacità massima per turno*. La *capacità per turno* è il rapporto tra *Pezzi per giorno* e il *numero di turni*. La risorsa *ZE_PF34_24* ha una capacità massima per turno che varia a seconda che produca per la famiglia *FS* o *BI*. I dati che fanno riferimento

a questa risorsa specificano due valori di pezzi per giorno, uno legato alla famiglia *FS* e l'altro legato alla famiglia *BI*. Per questa risorsa l'efficienza rimane costante, la diversa velocità di produzione l'abbiamo gestita attraverso più ricette relative allo stesso prodotto. Ognuna di queste ricette ha un diverso tempo variabile di processo, che dipende dalla famiglia, e dalla capacità giornaliera. Ogni ricetta è poi attiva in un apposito intervallo di giorni, ricavato sempre dalla tabella 4.2.

Il calendario della risorsa *MANPOWER_HONGKONG*

Il calendario della risorsa logica *MANPOWER_HONGKONG* è deducibile dal calendario delle risorse di assemblaggio finale della categoria *TL*. Esso deve essere attivo in un turno, se e solo se, almeno una delle risorse di assemblaggio finale della *TL* è attiva durante quel turno, poiché svolge un ruolo di risorsa condivisa.

4.1.3 Il vincolo della produzione per linea

Ognuna delle risorse mappate nel modello può fabbricare un certo sottoinsieme di componenti o prodotti finiti.

Le anagrafiche dei materiali

I dati che ci sono stati forniti ricoprono l'intera anagrafica dei prodotti finiti (circa 90), le cui informazioni sono state arricchite con i dettagli riguardanti la famiglia a cui appartengono. Altri dati anagrafici a nostra disposizione riguardano i componenti: cestello, timer, *tun h4*, *aquastop*, motore e bilancia; ognuno dei quali con il legame e la cardinalità della relazione con il prodotto finito di cui fanno parte. Tutti questi componenti hanno una cardinalità della relazione di tipo 1-1 con il prodotto finito.

Il legame tra risorsa e prodotto finito

Il legame che sancisce quale prodotto o componente può essere fabbricato su quale risorsa, è stato risolto mettendo in relazione il prodotto finito con la

famiglia a cui appartiene, o per quanto riguarda il componente *cestello FL*, mettendo in relazione il legame componente-prodotto finito con la famiglia a cui appartiene il prodotto finito. In base alla famiglia si viene a conoscenza anche della risorsa che lo può produrre.

4.1.4 Il vincolo di capacità delle risorse e della produzione dei cestelli *FL*

Il tempo variabile necessario ad una risorsa per fabbricare un'unità di un certo prodotto, lo si può dedurre dalla capacità della risorsa in un certo intervallo di tempo.

Il *takt time*

Il ritmo della produzione, o *takt time*, viene ottenuto per ogni linea dal reciproco del rapporto tra la massima capacità per turno e la durata del turno. L'efficienza del calendario influenza (rallentando o velocizzando) il ritmo della produzione. La tabella 4.3 riassume per ogni risorsa la massima capacità per turno e il ritmo della produzione.

RISORSA	CAPACITÀ MASSIMA PER TURNO	TAKT TIME (sec)
ZE.PF34_21	1050	27,5
ZE.PF34_22	1050	27,5
ZE.PF34_23	1060	27
ZE.PF34_24 (BI)	520	55,5
ZE.PF34_24 (FS)	850	34
FLDRUM	1200	24

Tabella 4.3: I takt time delle risorse

Il tempo di attraversamento

Per ogni risorsa di assemblaggio finale, il tempo di attraversamento, ovvero il tempo impiegato da un pezzo (o da un lotto) per completare il proprio percorso all'interno di un sistema di produzione, è di circa 60 minuti. Per la risorsa *DRUM_FL* è di circa 40 minuti.

4.1.5 Il vincolo di fornitura componenti *tub h4* e *aqua-stop*

Il componente *tub h4* viene fornito allo stabilimento con un approvvigionamento costante di 1220 pezzi giornalieri, mentre il componente *aquastop* è fornito allo stabilimento sempre tramite un approvvigionamento costante, ma di 800 pezzi giornalieri. La fornitura avviene dal Lunedì al Venerdì di ogni settimana esclusi i giorni festivi.

4.1.6 I vincoli di approvvigionamento dei componenti critici

Per quanto riguarda i componenti critici di approvvigionamento (timer, motori e bilancia), non ci sono stati forniti dati come la quantità minima e massima da ordinare e il tempo di fornitura, di conseguenza non è stato possibile modellare gli approvvigionamenti di questi componenti.

Un semplice modo che può aiutare a valutare una stima della quantità futura necessaria di questi componenti e che abbiamo deciso di mappare, consiste nel modellare questa componentistica mediante delle quantità infinite e di far riferimento alle quantità consumate, come quantità necessarie nel periodo di riferimento pianificato.

4.1.7 La situazione iniziale delle scorte dei componenti critici

Abbiamo a disposizione un'approssimata situazione iniziale delle scorte dei cestelli, del *tub h4* e dell'*aquastop*; che è mostrata nella tabella 4.4.

4.1.8 Il vincolo del primo turno per un gruppo di prodotti finiti *TL*

Ci è stata fornita la lista dei prodotti finiti che possono essere immessi sulla linea finale di assemblaggio solo durante il primo turno, questo vincolo può essere gestito mediante una rappresentazione delle tre fasi principali della

CODICE	DESCRIZIONE	QUANTITÀ
461971403512	cestello_FL_1	300
461971410482	cestello_FL_2	150
461971413082	cestello_FL_3	550
461971413092	cestello_FL_4	0
461971421362	cestello_FL_5	100
461971423802	cestello_FL_6	600
461975262551	cestello_FL_7	100
461975266331	cestello_FL_8	250
461971414845	tub_h4	50
461985868151	aquastop	0

Tabella 4.4: La situazione iniziale delle scorte dei componenti critici

produzione in catena di montaggio (ingresso, attraversamento e uscita del prodotto finito), e un'apposito calendario attivo esclusivamente per un turno, quando almeno una delle due risorse della categoria *TL* è attiva. Questo calendario dovrà essere utilizzato a livello di modalità con la quale l'attività può essere eseguita.

4.1.9 Il vincolo delle *TL* per il mercato di Hong Kong

I prodotti destinati al mercato di Hong Kong, non possono essere prodotti contemporaneamente sulle adibite linee finali di assemblaggio (*ZE_PF34_21*, *ZE_PF34_22*).

La soluzione che abbiamo adottato prevede l'utilizzo di una risorsa logica secondaria condivisa, necessaria per fabbricare questi modelli. La risorsa logica (*MANPOWER_HONGKONG*) dovrà avere una capacità pari alla capacità richiesta da una delle due risorse (le due risorse richiedono lo stesso quantitativo di capacità) di assemblaggio finale, in modo che l'utilizzo della risorsa *MANPOWER_HONGKONG* sia mutuamente esclusivo.

4.1.10 I vincoli di lotto

Il piano generato da *SAP APO* tiene già conto dei vincoli di lotto minimo sulle risorse di assemblaggio finale, tuttavia, disaggregando il piano in base alla tipologia della domanda, potrebbe capitare di incorrere in quantità minori del lotto minimo. Per questo motivo il vincolo di lotto minimo non può essere trascurato. Per tutte le risorse considerate, esiste un vincolo di

lotto minimo, ma non un vincolo di lotto massimo. I dati sono riassunti nella tabella 4.5.

RISORSA	DIMENSIONE DEL LOTTO MINIMO
ZE_PF34_21	30
ZE_PF34_22	30
ZE_PF34_23	30
ZE_PF34_24 (BI)	30
ZE_PF34_24 (FS)	30
DRUM_FL	50

Tabella 4.5: I lotti minimi delle risorse

4.1.11 I vincoli di configurazione

I vincoli di configurazione sono presenti sia sulla risorsa *DRUM_FL*, sia sulle quattro risorse di assemblaggio finale.

Le configurazioni sulle risorse di assemblaggio finale

Le diverse configurazioni sulle risorse di assemblaggio finale, vengono gestite in stabilimento in base alla famiglia, al brand e in base al concetto di modello logistico.

Non ci è stata fornita una matrice delle transizioni di stato con i tempi spesi per ogni transizione. Gli unici dati che ci hanno reso disponibili riguardano le priorità tra le diverse tipologie di configurazione, e le sequenze circolari ottime dei modelli logistici per le due famiglie principali *FL* e *TL*. Ogni sequenza circolare ottima è costituita da due sottosequenze circolari ottime, che definiscono le migliori sequenze per ogni famiglia di prodotto *FS*, *BI*, *LR* e *HR*.

Le diverse tipologie di configurazioni, in ordine di priorità, sono: la famiglia (transizione dalla produzione *BI* alla produzione *FS* e dalla produzione *HR* alla produzione *LR*), i modelli logistici e cambio di brand (transizione da prodotti di brand *Whirlpool* a prodotti di brand *no Whirlpool*). A integrazione di queste informazioni abbiamo ricevuto i dati mancanti dei legami tra prodotto finito e modello logistico e tra prodotto finito e brand.

La tabella 4.6 mostra la sequenza circolare ottima, e le sottosequenze circolari ottime, dei modelli logistici per le due principali famiglie di prodotti.

SEQUENZA FL	SEQUENZA TL	SOTTOSEQUENZA FS	SOTTOSEQUENZA BI	SOTTOSEQUENZA HR	SOTTOSEQUENZA LR
465	431/432	465	483	431/432	407/408
480	433/434	480	484	433/434	400
488	435/437	488	485	435/437	402/405
481	449/441/442	481		449/441/442	412
486	407/408	486			416/417
483	400				
484	402/405				
485	412				
	416/417				

Tabella 4.6: Le sequenze ottime del modello logistici

Le configurazioni sulla risorsa *DRUM_FL*

I dati relativi alle diverse configurazioni della risorsa *DRUM_FL* ci sono stati forniti in modo completo, abbiamo a disposizione l'intera matrice delle transizioni di stato espressa in minuti. I diversi stati in cui si può trovare la linea di produzione dei cestelli, sono necessari per realizzare dei cestelli adatti alle diverse velocità di rotazione dei motori. Nella tabella 4.7 è mostrata la matrice di transizione di stato utilizzata.

MATRICE CESTELLI	800 RPM	1000 RPM	1200 RPM	1400 RPM
800 RPM	0 minuti	20 minuti	25 minuti	35 minuti
1000 RPM	20 minuti	0 minuti	25 minuti	35 minuti
1200 RPM	25 minuti	25 minuti	0 minuti	30 minuti
1400 RPM	35 minuti	35 minuti	30 minuti	0 minuti

Tabella 4.7: La matrice delle transizioni della linea *DRUM_FL*

4.1.12 I vincoli di finestre temporali sulla domanda

Per ogni tipologia di domanda, è stato necessario concordare con l'SMC di Whirlpool la dimensione delle finestre temporali durante le quali la domanda può essere soddisfatta. Il nostro scopo è quello di concedere una certa flessibilità a *PPO* nel soddisfare la domanda, in modo da poter rimpastare sottoinsiemi di produzioni di giorni differenti, al fine di generare un piano di produzione realmente fattibile, che si avvicini il più possibile ai quantitativi generati da *SAP APO*.

Occorre precisare che, senza una gestione dei costi di magazzino come avviene nel nostro progetto, *PPO* può decidere di anticipare la produzione, se ciò comporta miglioramenti, o non comporta peggioramenti dei costi di non

soddisfazione la domanda. L'anticipo viene perciò limitato in fase di pianificazione tramite dei costi fissi di anticipo, e nella fase di scheduling da un parametro che limita le modifiche del tempo di effettiva produzione rispetto al *bucket* pianificato. La flessibilità, nella fase di pianificazione, è ottenuta allargando di un certo intervallo di tempo la finestra temporale entro la quale la domanda può essere soddisfatta. Maggiore sarà questo allargamento, maggiore sarà la probabilità che *PPO* riesca a generare un piano fattibile degli stessi quantitativi produttivi di *SAP APO*. D'altro canto però, un eccessivo allargamento della finestra temporale porterebbe stravolgere completamente le tempistiche previste.

Per ogni tipologia di domanda, la tabella 4.8 mostra i dati dell'accordo con l'*SCM* di Whirlpool sull'allargamento della finestra temporale, durante la quale la domanda può essere soddisfatta.

TIPO DI DOMANDA	PERIODO CONGELATO	DIMENSIONE DELLA FINESTRA TEMPORALE (giorni)	DESCRIZIONE
BTO	si	1	La domanda può essere soddisfatta solo ed esclusivamente nel giorno pianificato da SAP APO.
SUP	si	1	La domanda può essere soddisfatta solo ed esclusivamente nel giorno pianificato da SAP APO.
NONBTO	si	$2 \leq \text{durata} \leq 3$	Il limite massimo entro il quale la domanda può essere soddisfatta è allargato di un giorno rispetto alla data pianificata da SAP APO, l'anticipo in pianificazione può essere al massimo di un giorno. Anche i primi due giorni successivi al periodo congelato sono trattati in questo modo. La domanda è vincolata a rimanere nella stessa settimana lavorativa pianificata da SAP APO.
BTO	no	1	La domanda può essere soddisfatta solo ed esclusivamente nel giorno pianificato da SAP APO.
SUP	no	1	La domanda può essere soddisfatta solo ed esclusivamente nel giorno pianificato da SAP APO.
NONBTO	no	$3 \leq \text{durata} \leq 5$	Il limite massimo entro il quale la domanda può essere soddisfatta è allargato di due giorni rispetto alla data pianificata da SAP APO, l'anticipo massimo nella fase di pianificazione è di due giorni. La domanda è vincolata a rimanere nella stessa settimana lavorativa pianificata da SAP APO.

Tabella 4.8: Tipi di domanda e relativa priorità

Dalla tabella è possibile notare come le produzioni per le domande della

tipologia *BTO* e *SUP*, siano vincolate ad essere effettivamente eseguite solo ed esclusivamente nel giorno pianificato da *SAP APO*. Queste tipologie dovranno essere trattate in modo specifico, perché senza trattare i costi di magazzino e utilizzando il parametro che concede una certa flessibilità allo scheduling, *PPO* può decidere di anticipare la produzione prima dell'inizio della finestra temporale nella fase di scheduling.

Le tipologie *NONBTO*, che non rientrano nel periodo congelato, godono di maggiore flessibilità per aumentare la probabilità di ottenere un piano di produzione che saturi completamente le linee produttive. Soddisfando maggiore domanda, la stima massima della componentistica necessaria in futuro sarà più precisa, e potrà aiutare le decisioni sugli approvvigionamenti caratterizzati da tempi lunghi di consegna. Per le tipologie *NONBTO* la pianificazione consente un anticipo massimo di due giorni.

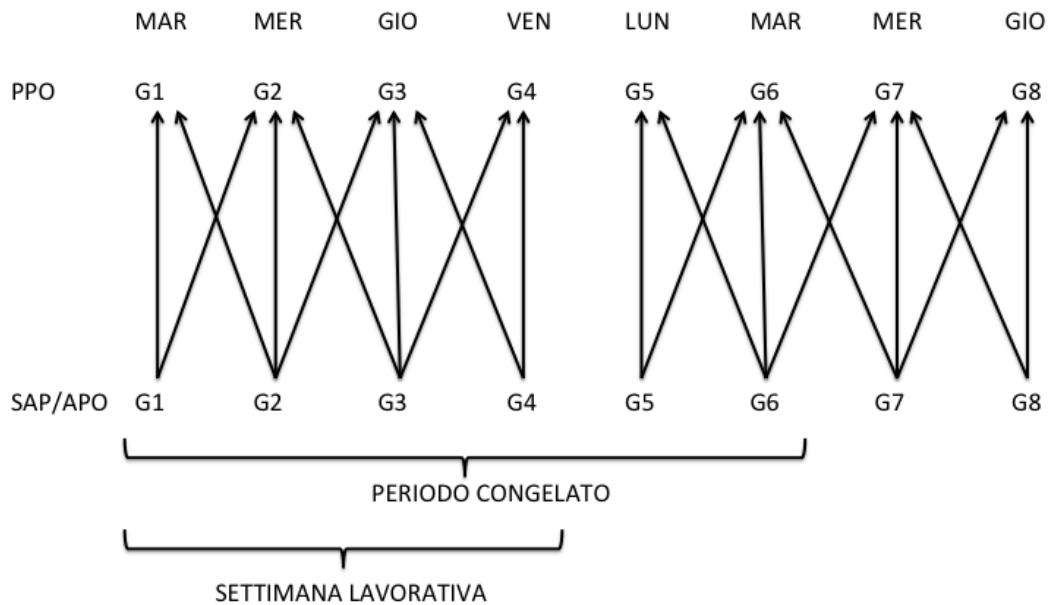


Figura 4.1: La flessibilità della domanda nel periodo congelato

Le figure 4.1 e 4.2 sono uno schema della flessibilità a cui è soggetta la domanda. Mostrano dove le produzioni pianificate da *SAP APO*, per la categoria *NONBTO*, possono essere ricollocate dal piano generato da *PPO*.

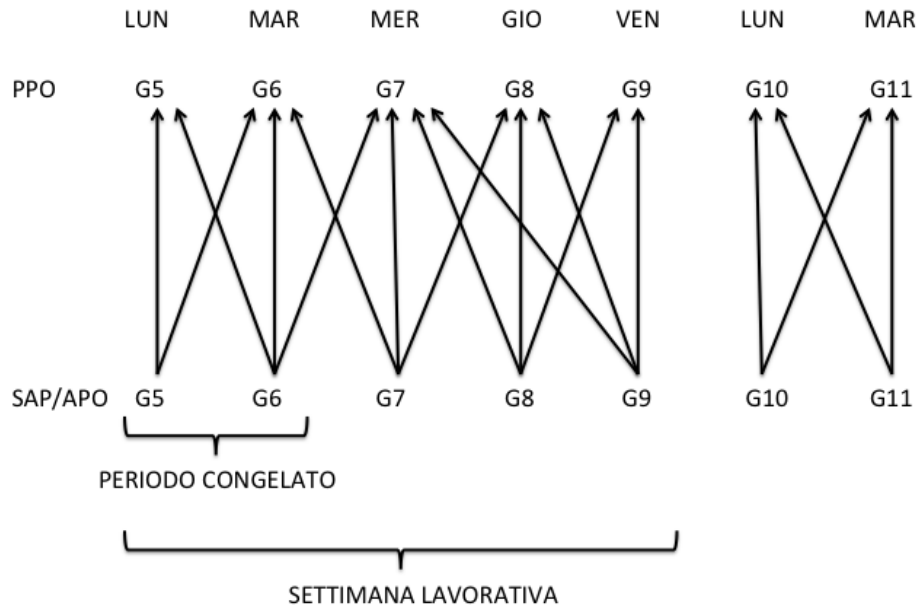


Figura 4.2: La flessibilità della domanda fuori dal periodo congelato

4.2 La modellazione in *PPO*

La modellazione del processo produttivo in *PPO* è stata eseguita inserendo direttamente le informazioni nella base di dati esportata su Microsoft Excel. La presentazione del modo in cui i dati del processo produttivo sono stati utilizzati per rappresentare i vincoli, segue la stessa sequenza di cui mi sono servito nel capitolo 3 per mostrare le tabelle e le loro relazioni.

4.2.1 Le tabelle generali

Come si può vedere in tabella 4.9, per lo schema *PPO_MODEL*, viene specificato il nome del modello, l'unità di tempo, le date di inizio e fine del modello, il profilo di ottimizzazione corrente e l'identificativo della sequenza di *bucket* da utilizzare per l'ottimizzazione.

NAME	TIME_UNIT	DATE_ORIGIN	START_MIN	END_MAX	CURRENT_OTPIMIZATION_PROFILE	TIME_ZONE	BUCKET_SEQUENCE_ID
Poprad	60	28/06/2010 0.00	28/06/2010 5.00	31/10/2010 0.00	profilo_1	Europe/Rome	bucket_giornaliero.seq

Tabella 4.9: La tabella *ES_PPO_MODEL*

Abbiamo deciso di utilizzare il minuto come unità di tempo per rendere più semplice il problema in fase di scheduling, anche se il ritmo della

produzione è minore di un minuto. Il vincolo di lotto minimo fa sì che le approssimazioni nella fase di scheduling risultino limitate, in quanto il tempo perso riguarda solamente i secondi che avanzano per completare l'ultimo minuto di produzione del singolo lotto.

Attraverso delle simulazioni abbiamo riscontrato che lo scheduling sulle linee *ZE-PF34-21*, *ZE-PF34-22* e *ZE-PF34-24* produce ogni giorno tra 1% e l'1.5% in meno rispetto a quanto pianificato, sulla linea *ZE-PF34-24* la percentuale si aggira tra lo 0.8% e l'1.2%, mentre per la linea *DRUM-FL* la percentuale è compresa tra lo 0.2% e lo 0.4%, data la presenza di pochi lotti ma molto grandi.

Abbiamo pensato di risolvere questo problema con l'aumento dell'efficienza su ogni risorsa di assemblaggio finale. L'efficienza è stata aumentata del valore medio della percentuale di produzione che veniva pianificata ma che non riusciva ad essere tutta sequenziata causa la granularità dell'unità di tempo. Allo stesso tempo, abbiamo apportato una riduzione della stessa quantità di percentuale nel fattore di riduzione della pianificazione.

Così facendo, lo scheduling è stato lievemente drogato per limitare le approssimazioni, che ora sono prossime ai valori dichiarati. Per non pianificare più di quanto pianifica *SAP APO*, per via dell'efficienza aumentata, è utilizzato il fattore di riduzione della pianificazione.

OPTIMIZATION_PROFILE_ID	NAME	PLANNING_HORIZON	SCHEDULING_HORIZON	PLANNING_TIME_LIMIT	SCHEDULING_TIME_LIMIT
profilo_1	profilo_1	27/07/2010 22.00	01/07/2010 22.00	5400	1800

Tabella 4.10: La tabella *ES_PPO_OPTIMIZATION_PROFILE_P_1*

PLANNING_ALGORITHM	BATCHING_ALGORITHM	PLANNING_REQUIRED	BATCHING_REQUIRED	SCHEDULING_REQUIRED
MultiPass	ConstraintBased	Vero	Vero	Vero

Tabella 4.11: La tabella *ES_PPO_OPTIMIZATION_PROFILE_P_2*

OPTIMIZATION_PROFILE_ID	CRITERION_ID	WEIGHT
profilo_1	TotalNonDeliveryCost	100
profilo_1	TotalEarlinessCost	100

Tabella 4.12: La tabella *ES_PPO_PLANNING_CRITERION_WEIGHT*

Nelle tabelle 4.10 e 4.11 è definito il profilo di ottimizzazione. Il modello scelto per il problema di pianificazione è il *Multipass With Goal Programming*, che ben si adatta all'obiettivo di soddisfare quanto più possibile la domanda.

OPTIMIZATION_PROFILE_ID	CRITERION_ID	WEIGHT
profilo_1	TotalNonDeliveryCost	100
profilo_1	TotalSetupCost	100

Tabella 4.13: La tabella *ES_PPO_SCHEDULING_CRITERION_WEIGHT*

Il modello di risoluzione utilizzato dal *batching module* è il *Constraint Based*. Gli orizzonti di pianificazione e di scheduling hanno una durata rispettivamente di 21 giorni lavorativi (durata del periodo congelato più tre settimane lavorative) e 4 giorni lavorativi, come accordato con Whirlpool.

Come riassunto dalle tabelle 4.12 e 4.13 sia nella fase di scheduling, che in quella di pianificazione, vengono ottimizzati i costi di insoddisfazione della domanda (*TotalNonDeliveryCost*). Durante la pianificazione è utilizzato anche il costo di anticipo (*TotalEarlinessCost*), per impedire di anticipare eccessivamente le produzioni pianificate da *SAP APO*. Come vedremo successivamente, il costo di anticipo è soggetto solo alla domanda della categoria *NONBTO*. Nella fase di scheduling è perseguito anche l'obiettivo di minimizzare i cambi di configurazione sulle linee di assemblaggio finale.

BUCKET_SEQUENCE_ID	NAME
bucket-giornaliero.seq	Sequenza di bucket della durata di un giorno

Tabella 4.14: La tabella *ES_PPO_BUCKET_SEQUENCE*

BUCKET_ID	NAME	START_TIME	END_TIME	BUCKET_SEQUENCE_ID
bucket-giorno_1	28 giugno	28/06/2010 5.00	29/06/2010 6.00	bucket-giornaliero.seq
bucket-giorno_2	29 giugno	29/06/2010 6.00	30/06/2010 6.00	bucket-giornaliero.seq
bucket-giorno_3	30 giugno	30/06/2010 6.00	1/07/2010 6.00	bucket-giornaliero.seq

Tabella 4.15: La tabella *ES_PPO_BUCKET*

Nelle tabelle 4.14 e 4.15 sono definiti i *bucket*. La dimensione del *bucket* definisce la granularità del problema di pianificazione. La sequenza è costituita da 35 *bucket* della dimensione di un giorno, le restanti otto settimane della pianificazione di 13 settimane di *SAP APO* sono gestite con dei *bucket* settimanali.

4.2.2 Master data resources

Per simulare le tre diverse fasi di: ingresso, attraversamento e uscita; a cui è soggetto il prodotto quando è lavorato sulla linea di produzione, abbiamo

triplicato ogni risorsa reale, facendo in modo che ad ognuna di essa corrisponda una distinta fase del processo produttivo. Nelle tabelle 4.16 e 4.17 è riportato l'esempio relativo alla risorsa *ZE-PF34-21*.

RESOURCE_ID	NAME	CAPACITY	CALENDAR_ID	START_MIN	END_MAX	PLAN_CAPACITY_REDUCTION_FACTOR
ZE-PF34-21_ing	Risorsa_21 TL LR in	1	calendario_ZE-PF34-21_ing_usc	28/6/2010 5.00	1/1/2200 0.00	0,9875
ZE-PF34-21_att	Risorsa_21 TL LR att	INF	calendario_ZE-PF34-21_att	28/6/2010 5.00	1/1/2200 0.00	1
ZE-PF34-21_usc	Risorsa_21 TL LR usc	1	calendario_ZE-PF34-21_ing_usc	28/6/2010 5.00	1/1/2200 0.00	0,9875

Tabella 4.16: La tabella *ES-PPO-RESOURCE-P.1*

OVERTIME_VARIABLE_COST	EXTRA_CAPACITY_VARIABLE_COST	EXTRA_CAPACITY_FACTOR	CAPACITY_PLANNING_ALLOWED
1	2	10	vero
INF	1	1	vero
1	2	10	vero

Tabella 4.17: La tabella *ES-PPO-RESOURCE-P.2*

Mentre le risorse a cui corrispondono le fasi di ingresso (*ZE-PF34-21-ing*) e uscita (*ZE-PF34-21-usc*) hanno una capacità pari a uno, la risorsa di attraversamento (*ZE-PF34-21-att*) ha una capacità concettualmente infinita, in quanto la si può immaginare come un tubo, nel quale, quando un certo lotto non è ancora uscito dal tubo, può entrare un altro lotto avente un certo tempo di attraversamento in comune con il lotto o lotti precedenti.

Il campo *START_MIN* del primo giorno di simulazione è impostato con l'ora di partenza alle cinque del mattino, in modo da simulare il materiale in corso di lavorazione (*work in progress*), poiché il normale primo turno inizia alle sei del mattino, e il tempo di attraversamento corrisponde ad un'ora.

Il campo *PLAN_CAPACITY_REDUCTION_FACTOR*, come accennato precedentemente, è diminuito dell'1,25%, per le risorse di ingresso e uscita delle linee *ZE-PF34-21*, *ZE-PF34-22* e *ZE-PF34-23*. Allo stesso modo, la riduzione è dell'1% per la linea *ZE-PF34-24*, e dello 0.3% per la linea di produzione dei cestelli.

FIRST_RESOURCE_ID	SECOND_RESOURCE_ID
ZE-PF34-21_ing	ZE-PF34-21_att
ZE-PF34-21_att	ZE-PF34-21_usc

Tabella 4.18: La tabella *ES-PPO-RESOURCE-CONNECTION*

Per ogni insieme di tre risorse logiche, è necessario connettere tra loro le stesse risorse logiche, in modo che le diverse attività delle ricette siano tutte realizzate mediante una risorsa logica appartenente alla stessa risorsa reale

($ZE_PF34_21_ing$, $ZE_PF34_21_att$ e $ZE_PF34_21_usc$) e dipendente dalla fase che l'attività simula. Se non fosse utilizzato un vincolo di connessione tra le risorse logiche appartenenti alla stessa risorsa reale, le attività delle ricette che possono essere eseguite su più risorse reali, potrebbero essere compiute da diverse fasi di diverse risorse.

4.2.3 Master data calendars

È stato creato un calendario per ogni coppia di risorse di ingresso e di uscita appartenenti allo stesso insieme logico di risorse, e un calendario per ogni risorsa di attraversamento. Il calendario tra la coppia di risorse di ingresso e di uscita e la risorsa di attraversamento appartenenti allo stesso insieme logico di risorse, non può essere lo stesso, poiché gestiamo l'efficienza a livello di ritmo di produzione, mantenendo sempre costante il tempo di attraversamento.

È inoltre necessario un ulteriore calendario di un solo turno (il primo), per gestire il vincolo relativo alla possibile immissione sulla linea di assemblaggio finale, di un gruppo di prodotti finiti della categoria TL , solamente durante il primo turno.

CALENDAR_ID	NAME
calendario_ZE_P34_21_ing_usc	Calendario ZE_P34_21 per le risorse di ingresso e uscita
calendario_ZE_P34_21_att	Calendario ZE_P34_21 per le risorse di attraversamento
calendario_primo_turno	Calendario per il vincolo di primo turno per un sottinsieme di TL

Tabella 4.19: La tabella $ES_PPO_CELENDAR$

DAY_SEQUENCE_TEMPLATE_ID	CALENDAR_ID	START_DATE	END_DATE	FIRST_DAY_NUMBER
seq_Calendario ZE_P34_21_ing_usc	Calendario ZE_P34_21_ing_usc	28/06/2010	31/10/2010	1
seq_Calendario ZE_P34_21_att	Calendario ZE_P34_21_att	28/06/2010	31/10/2010	1

Tabella 4.20: La tabella $ES_PPO_DAY_SEQUENCE_REPETITION$

DAY_SEQUENCE_TEMPLATE_ID	NAME	NUMBER_OF_DAYS
seq_Calendario ZE_P34_21_ing_usc	Sequenza calendario ZE_P34_21_ing_usc	7
seq_Calendario ZE_P34_21_att	Sequenza calendario ZE_P34_21_att	7

Tabella 4.21: La tabella $ES_PPO_DAY_SEQUENCE_TEMPLATE$

DAY_SEQUENCE_TEMPLATE_ID	DAY_NUMBER	START_TIME	DURATION	EFFICIENCY	NAME	MAX_POSSIBLE_OVERTIME
seq_Calendario ZE_PF34_21_ing_usc	1	6.00	8.00	0,676	Lun_turno_1	0.00
seq_Calendario ZE_PF34_21_ing_usc	1	14.00	8.00	0,676	Lun_turno_2	0.00
seq_Calendario ZE_PF34_21_att	1	6.00	8.00	1	Lun_turno_1	0.00

Tabella 4.22: La tabella *ES_PPO_SHIFT_TEMPLATE*

DAY_SEQUENCE_TEMPLATE_ID	DAY_NUMBER	START_TIME	DURATION	NAME
seq_Calendario ZE_PF34_21_ing_usc	1	22.00	8.00	Lun_break_1
seq_Calendario ZE_PF34_21_ing_usc	2	22.00	8.00	Mar_break_1
seq_Calendario ZE_PF34_21_att	1	22.00	8.00	Lun_break_1

Tabella 4.23: La tabella *ES_PPO_BREAK_TEMPLATE*

Le tabelle 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 e 4.23 mostrano un esempio di come si crea un calendario. Per ogni calendario, il modello della sequenza di ripetizione è stato creato valutando il numero di turni e il valore dell'efficienza predominanti. Questo per minimizzare gli interventi di gestione delle eccezioni sul calendario stesso.

CALENDAR_ID	START_DATE	END_DATE	NAME
Calendario ZE_PF34_21_ing_usc	5/7/2010 6.00	22.5/7/2010 14.00	Eccezione non lavorativa Calendario ZE_PF34_21_ing_usc
Calendario ZE_PF34_21_att	5/7/2010 6.00	22.5/7/2010 14.00	Eccezione non lavorativa Calendario ZE_PF34_21_att

Tabella 4.24: La tabella *ES_PPO_DOWNTIME_EXCEPTION*

CALENDAR_ID	START_DATE	END_DATE	EFFICIENCY	NAME
Calendario ZE_PF34_21_ing_usc	28/6/2010 5.00	28/6/2010 14.00	0,601	Eccezione di efficienza Calendario ZE_PF34_21_ing_usc
Calendario ZE_PF34_21_ing_usc	28/6/2010 14.00	28/6/2010 22.00	0,601	Eccezione di efficienza Calendario ZE_PF34_21_ing_usc

Tabella 4.25: La tabella *ES_PPO_EFFICIENCY_EXCEPTION*

CALENDAR_ID	START_DATE	END_DATE	NAME
Calendario ZE_PF34_21_ing_usc	28/6/2010 5.00	28/6/2010 6.00	Eccezione di lavoro Calendario ZE_PF34_21_ing_usc
Calendario ZE_PF34_21_ing_usc	28/8/2010 6.00	28/8/2010 14.00	Eccezione di lavoro Calendario ZE_PF34_21_ing_usc

Tabella 4.26: La tabella *ES_PPO_OVERTIME_EXCEPTION*

La tabella 4.24 mostra delle eccezioni di chiusura rispetto al modello di sequenza del calendario. La tabella 4.25 illustra come sono state gestite le eccezioni di efficienza, ed infine la tabella 4.26 è un esempio di come sono state trattate le eccezioni di lavoro aggiuntivo.

4.2.4 Master data materials e storage unit

I materiali trattati nel modello ricoprono tutti i prodotti finiti attualmente in produzione, più sei componenti critici: il cestello, l'*aquastop*, il *tub h4*,

il timer, il motore e la bilancia. Per i prodotti finiti sono gestite anche le famiglie, ma solo per scopi di reportistica. La produzione dei cestelli è mappata nel modello per mezzo di dati reali, così come l'approvvigionamento dei componenti *aquastop* e *tub h4*. I restanti componenti sono modellati tramite delle quantità iniziali infinite.

MTAERIAL_ID	NAME	DAYS_OF_SUPPLY_TARGET_MAX	PRIMARY_UNIT_ID	DISPLAY_UNIT_ID	STOCK_MAX_POLICY
858336103070	431/432_wat care 12 WS BK	INF	pezzi	pezzi	DaysOfSupplyMax
461971418202	timer_TL_4	INF	pezzi	pezzi	DaysOfSupplyMax

Tabella 4.27: La tabella *ES_PPO_MATERIAL*

UNIT_ID	NAME
pezzi	unità di misura dei materiali

Tabella 4.28: La tabella *ES_PPO_UNIT*

MTAERIAL_FAMILY_ID	NAME	TYPE
TL	famiglia TOP LOADER	LOADER
FL	famiglia FRONT LOADER	LOADER

Tabella 4.29: La tabella *ES_PPO_MATERIAL_FAMILY*

MTAERIAL_FAMILY_ID	MATERIAL_ID
TL	858396040310
FL	859256510100

Tabella 4.30: La tabella *ES_PPO_MATERIAL_FAMILY_MATERIAL*

La tabella 4.27 mostra come sono state trattate le anagrafiche dei materiali. Non maneggiando la gestione delle scorte per nessun materiale, abbiamo utilizzato un valore concettualmente infinito per il massimo numero dei giorni di copertura, in modo da rilassare possibili vincoli per le produzioni anticipate.

La politica per il livello massimo di scorte è impostata a *DaysOfSupplyMax* per utilizzare effettivamente il campo *DAYS_OF_SUPPLY_TARGET_MAX*. Le tabella 4.28 mostra l'unità di misura utilizzata per i materiali, mentre le tabelle 4.29 e 4.30 rappresentano degli esempi di famiglie dei materiali e i legami tra le stesse famiglie e i prodotti finiti.

STORAGE_UNIT_ID	NAME	QUANTITY_MAX	CATEGORY
PF34	CDC di poprad	INF	Warehouse
PF34_BTO_SUP	Magazzino logico per domanda BTO e SUP	0	Warehouse

Tabella 4.31: La tabella *ES_PPO_STORAGE_UNIT*

STORAGE_UNIT_ID	MATERIAL_ID
PF34	858336103070
PF34_BTO_SUP	858336103070

Tabella 4.32: La tabella *ES_PPO_STORAGE_UNIT_MATERIAL*

Nelle tabelle di esempio 4.31 e 4.32 sono definiti i magazzini e i materiali che i magazzini possono stoccare. Abbiamo utilizzato due diversi magazzini per trattare il vincolo che obbliga la pianificazione e lo scheduling, delle produzioni richieste da domande della tipologia *BTO* e *SUP*, solo ed esclusivamente nei giorni pianificati da *SAP APO*.

Le domande della tipologia *BTO* e *SUP*, come vedremo successivamente, sono vincolate a prelevare i materiali dal magazzino *PF34_BTO_SUP*, il quale possiede una capacità nulla. La capacità nulla del magazzino obbliga sia la pianificazione, che lo scheduling di queste produzioni, ad essere eseguite solamente durante il giorno pianificato da *SAP APO*.

Le domande della categoria *NONBTO* fanno invece riferimento al magazzino *PF34*, che possiede una capacità infinita e che quindi concede una certa flessibilità alla produzione.

Entrambi i magazzini sono legati a tutti i prodotti finiti, mentre il magazzino *PF34* può anche stoccare tutti i componenti, anche in questo caso senza alcun vincolo di capacità.

4.2.5 Master data recipes, activities e modes

Per ogni prodotto finito è specificata una ricetta (tabelle 4.33 e 4.34) necessaria per la loro fabbricazione. Ogni ricetta di produzione è costituita da tre prototipi di attività (tabella 4.35), che per eseguire la ricetta devono essere istanziati in sequenza. Le tre attività, ognuna delle quali rappresenta una fase di produzione (ingresso, attraversamento e uscita), che appartiene alla stessa ricetta, devono essere eseguite in sequenza, ognuna per mezzo di una adeguata risorsa appartenente allo stesso insieme logico di risorse. L'insieme logico di risorse è il seguente: *ZE_PF34_X_ing*, *ZE_PF34_X_att*, *ZE_PF34_X_usc*. Ogni insieme logico rappresenta una risorsa reale.

Il nome delle attività varia in base alla fase che simulano. Ad esempio un'attività che simula la fase d'ingresso è contraddistinta dall'aggiunta del post

fisso *ing*, e potrà essere eseguita solo sulla risorsa di ingresso che appartiene allo stesso insieme logico di risorse, che rappresenta la risorsa reale su cui la ricetta può essere compiuta.

Se un certo prodotto finito può essere fabbricato su più linee di assemblaggio finale, le attività della sua ricetta possiedono più modalità di esecuzione. La differenza tra le diverse modalità, in questo caso, riguarda solamente l'insieme logico di risorse su cui la sequenza di attività è realizzata.

La sequenza delle attività è vincolata ad essere eseguita per intero sullo stesso insieme di risorse logiche. Ad esempio se la fase di ingresso è stata compiuta da un'attività che sfrutta la risorsa *ZE_PF34_21_ing*, le successive fasi devono obbligatoriamente utilizzare le restanti risorse appartenenti allo stesso insieme, ovvero le risorse *ZE_PF34_21_att* e *ZE_PF34_21_usc*, anche nel caso in cui le attività possiedono più modalità di esecuzione.

RECIPE_ID	NAME	RECIPE_TYPE	SPLIT_BATCH_SIZE_MIN	BATCH_SIZE_MIN	BATCH_SIZE_MAX
rec_858336103080	ricetta prodotto finito 858336103080	Make	30	30	INF
rec_858495240060	ricetta prodotto finito 858495240060	Make	30	10	INF

Tabella 4.33: La tabella *ES_PPO_RECIPE_P_1*

START_MIN	END_MAX	INTEGER_BATCH_SIZE	PRIMARY_PRODUCT_ID
28/6/2010 5.00	1/1/2200 0.00	vero	858336103080
28/6/2010 5.00	1/1/2200 0.00	vero	858495240060

Tabella 4.34: La tabella *ES_PPO_RECIPE_P_2*

ACTIVITY_ID	NAME	RECIPE_ID
act_858336103080_ing	attività di ingresso del prodotto finito 858336103080	rec_858336103080
act_858336103080_att	attività di attraversamento del prodotto finito 858336103080	rec_858336103080
act_858336103080_usc	attività di uscita del prodotto finito 858336103080	rec_858336103080

Tabella 4.35: La tabella *ES_PPO_ACTIVITY_PROTO*

ACTIVITY_ID	SETUP_FEATURE	SETUP_STATE
act_858336103080_ing	HR/LR	HR
act_858336103080_ing	LOG.MODEL_TL	431/432
act_858336103080_ing	BRAND	NO_Whirlpool
act_461971410482_ing	RPM	1400

Tabella 4.36: La tabella *ES_PPO_ACTIVITY_SETUP_STATE_PROTO*

PREDECESSOR_ID	SUCCESSOR_ID	TYPE	DELAY_MIN	DELAY_MAX
act_858336103080_ing	act_858336103080_att	StartToStart	0	0
act_858336103080_att	act_858336103080_usc	EndToStart	0	0

Tabella 4.37: La tabella *ES_PPO_PROD_PROD_PRECED_PROTO*

FIRST_ID	SECOND_ID	TYPE
act_858336103080_ing	act_858336103080_att	ConnectedPrimaryResources
act_858336103080_att	act_858336103080_usc	ConnectedPrimaryResources

Tabella 4.38: La tabella *ES_PPO_PROD_PROD_COMPAT_PROTO*

ACTIVITY_ID	MODE_NUMBER	RESOURCE_ID	FIXED_REQUIRED_CAPACITY	FIXED_PROCESSING_TIME_MIN	FIXED_PROCESSING_TIME_MAX
act_859321145070_ing	0	ZE_PF34_21_ing	1	0	0
act_859321145070_att	0	ZE_PF34_21_att	1	60	60
act_859321145070_usc	0	ZE_PF34_21_usc	1	0	0
act_859321145070_usc	1	ZE_PF34_21_usc	1	0	0
act_859321145070_ing	1	ZE_PF34_22_ing	1	0	0
act_859321145070_att	1	ZE_PF34_22_att	1	60	60
act_859321145070_usc	2	ZE_PF34_22_usc	1	0	0
act_859321145070_usc	3	ZE_PF34_22_usc	1	0	0

Tabella 4.39: La tabella *ES_PPO_MODE_PROTO_P_1*

VARIABLE_PROCESSING_TIME	START_MIN	END_MAX	CALENDAR_ID	SHIFT_BREAKABLE
0,457	28/6/2010 5.00	1/1/2200 0.00	null	vero
0	28/6/2010 5.00	1/1/2200 0.00	null	vero
0,457	28/6/2010 5.00	1/1/2200 0.00	null	vero
0,457	28/6/2010 5.00	1/1/2200 0.00	null	vero
0,457	28/6/2010 5.00	1/1/2200 0.00	null	vero
0	28/6/2010 5.00	1/1/2200 0.00	null	vero
0,457	28/6/2010 5.00	1/1/2200 0.00	null	vero
0,457	28/6/2010 5.00	1/1/2200 0.00	null	vero

Tabella 4.40: La tabella *ES_PPO_MODE_PROTO_P_2*

MATERIAL_ID	ACTIVITY_ID	VARIABLE_QUANTITY	FIXED_QUANTITY	CONTINUOUS
461973082485	act_859321145070_ing	-1	0	falso
461971414675	act_859321145070_ing	-1	0	falso
859321145070	act_859321145070_usc	1	0	falso
859321145070	act_859321145070_usc	1	0	falso

Tabella 4.41: La tabella *ES_PPO_MATERIAL_PRODUCTION_PROTO_P_1*

MODE_NUMBER	STORAGE_UNIT_ID	MAX_NUMBER_OF_PEGGING_ARCS
0	PF34	INF
0	PF34	INF
0	PF34	INF
1	PF34.BTO.SUP	INF

Tabella 4.42: La tabella *ES_PPO_MATERIAL_PRODUCTION_PROTO_P_2*

ACTIVITY_ID	MODE_NUMBER	RESOURCE_ID	FIXED_REQUIRED_CAPACITY
act_859321145070_usc	0	MANPOWER_HONGKONG	1
act_859321145070_usc	1	MANPOWER_HONGKONG	1

Tabella 4.43: La tabella *ES_PPO_SECONDARY_RESOURCE_PROTO*

La corretta sequenza delle attività di produzione è stabilita dalla tabella 4.37. Le attività di ingresso sono legate con un vincolo di tipo *StartToStart* alle attività di attraversamento relative alla medesima ricetta. Le attività di attraversamento sono invece legate con un vincolo di tipo *EndToStart* con le attività di uscita appartenenti alla stessa ricetta. Utilizzando questi vincoli, le attività di ingresso e attraversamento partono nello stesso istante, mentre l'attività di uscita può iniziare solamente quando l'attività di attraversamento è terminata.

Per vincolare ogni sequenza di attività di produzione ad essere eseguita sullo

stesso insieme logico di risorse, è utilizzata la tabella 4.38. Viene utilizzato un vincolo di *ConnectedPrimaryResources* tra le attività di ingresso e le attività di attraversamento, e anche tra le attività di attraversamento e le attività di uscita. Naturalmente si sta facendo sempre riferimento ad attività che appartengono alla stessa ricetta.

Le configurazioni sono gestite dalla tabella 4.36, che specifica uno stato e una matrice di transizioni di stato per ogni attività; la matrice delle transizioni di stato verrà discussa nella sezione successiva. Tutti i possibili vincoli di configurazione sono gestiti solo sulle attività di ingresso, perché grazie ai vincoli di sequenza sulle attività, la stessa sequenza ottimizzata sulle attività di ingresso si ripercuote anche sulle restanti attività. Su ogni attività di ingresso sono attive tre matrici di transizioni di stato. Ogni attività di ingresso possiede tre stati, uno per ogni matrice di transizione. Le tre matrici servono per ottimizzare la sequenza in base alle caratteristiche di famiglia, modello logistico e brand.

Le modalità (tabella 4.39 e 4.40) con cui possono essere eseguite le attività, sono utilizzate per permettere al solutore di scegliere su quale insieme di risorse logiche eseguire la sequenza delle attività. Inoltre, le modalità con cui è possibile eseguire le attività di uscita sono raddoppiate. Questo per permettere al prodotto finito (creato dall'attività di uscita), di poter passare sia attraverso il magazzino *PF34*, sia attraverso il magazzino *PF34-BTP-SUP* prima di incontrare la domanda.

Sempre nella tabella *PPO_MODE_PROTO*, nel campo *CALENDAR_ID* di tutte le attività di ingresso delle ricette che appartengono ai prodotti finiti *TL*, che sono limitati ad essere immessi sulla linea finale di assemblaggio durante il primo turno, è inserito l'identificativo dell'apposito calendario di un solo turno, utilizzato per il rispetto del vincolo descritto nella sezione 2.2.8. Per quanto riguarda il flusso dei materiali (tabelle 4.41 e 4.42), abbiamo deciso di porre il consumo dei componenti durante l'attività di ingresso. Il materiale consumato è contraddistinto da un valore negativo nel campo *VARIABLE_QUANTITY*. Le modalità aggiuntive di produzione¹ sono integrate in questa tabella con l'aggiunta del riferimento ai diversi magazzini nel quale

¹Quelle necessarie alle attività di uscita per soddisfare tutte le tipologie di domanda.

la produzione può essere stoccata. La tabella 4.43 mostra alcune delle attività di produzione sulle linee di assemblaggio finale che richiedono la risorsa secondaria *MANPOWER_HONGKONG*, perché appartenenti a ricette che fabbricano prodotti finiti destinati al mercato di Hong Kong.

La risorsa secondaria rappresenta il difficile imballaggio, pertanto abbiamo mappato questa restrizione durante l'attività di uscita, che è il momento in cui il prodotto finito diventa disponibile. Lo stesso effetto era altresì raggiungibile, rappresentando il vincolo sull'attività di ingresso.

4.2.6 *Master data setup times e setup cost*

Le operazioni di configurazione delle linee di produzione, come già accennato precedentemente, riguardano le quattro linee di assemblaggio finale e la linea di produzione dei cestelli. Se, per quanto riguarda la produzione dei cestelli, non è necessario effettuare nessun calcolo a proposito della matrice delle transizioni, poiché ci è stata fornita per intero ed espressa in minuti, diverso è invece il discorso riguardo le linee di assemblaggio finale.

Per le linee di assemblaggio finale, ci è stata solamente fornita la sequenza circolare ottima sui modelli logistici, e le informazioni relative alla famiglia e al brand. Non abbiamo a disposizione nessun dato relativo al tempo o al costo speso per nessuna transizione. È stato quindi necessario progettare delle apposite matrici che stabilissero un costo per ogni possibile transizione di stato. In accordo con l'*SCM* è stato stabilito che un lotto di produzione, appartenente a qualsiasi tipologia di domanda, è sempre prioritario rispetto a qualsiasi cambio di configurazione della linea di assemblaggio finale. Quindi, anche nella peggiore delle ipotesi, in cui si debba eseguire la configurazione più onerosa, questa deve avere un costo minore del costo di non soddisfare la domanda a minor priorità.

Occorre poi tener conto che, lo scheduling può lavorare con un certo grado (definito da un parametro) di flessibilità rispetto al *bucket* in cui la produzione è pianificata. In termini pratici, utilizzando per lo scheduling un parametro che concede al massimo un giorno di anticipo o posticipo rispetto al bucket pianificato, se una certa produzione è stata pianificata in un

certo giorno x , si può verificare che questa produzione sia poi effettivamente eseguita nel giorno $x-1$, nel giorno x o nel giorno $x+1$. La modifica della data pianificata può verificarsi se comporta dei vantaggi in termini di costi di configurazione, senza peggiorare i costi di soddisfazione della domanda. Questa flessibilità nella fase di scheduling, può però causare dei problemi di sequenziamento della produzione, se la matrice dei costi delle transizioni non è studiata accuratamente. L'obiettivo dell'utilizzo della matrice dei costi di transizione è, come richiesto dallo stabilimento, quello di ottenere delle sequenze di produzione che minimizzino il numero dei cambi di configurazione nel periodo congelato e se possibile seguano la sequenza circolare ottima. Per lo stabilimento, diminuire anche di un solo valore il numero delle configurazioni a maggior priorità, è sempre più importante del ridurre di un qualsiasi valore il numero di configurazioni a più bassa priorità. Partendo da questi dati, abbiamo pensato che la sequenza circolare ottima dei modelli logistici può essere rappresentata tramite una matrice di costi dove:

- Mantenersi nello stesso stato ha un costo nullo;
- Spostarsi sullo stato immediatamente successivo (seguire la sequenza ottima) ha il costo non nullo più basso;
- Maggiore è il numero di stati saltati dalla transizione, maggiore sarà il costo associato alla transizione stessa;
- Il costo maggiore è quello di passare nello stato precedente, che coincide con saltare $N-1$ stati, dove N è il numero dei possibili stati.

Se ad un arco (i,j) , che assumiamo parta dallo stato i e arrivi nello stato j , è associato un costo superiore ad almeno un costo complessivo di un cammino di due o più archi, che partono da i e arrivano in j , e che indichiamo con (i,k) e (k,j) ; può capitare che la soluzione di scheduling proponga una sequenza di archi (i,k) e (k,j) , dove lo stato k o la produzione k è un piccolo lotto estrapolato da un gruppo di lotti omogenei prodotti in un giorno differente, ed utilizzato per diminuire il costo totale delle transizioni.

La figura 4.3 mostra un esempio semplificato di quanto appena descritto,

il parametro di flessibilità dello scheduling utilizzato è di un giorno sia in anticipo che in posticipo (ricordo che le domande *BTO* e *SUP* non sono influenzate dal parametro). Si può notare come lo scheduling desiderato per la pianificazione è ottenuto dalla *MATRICE 1* ma non dalla *MATRICE 2*.

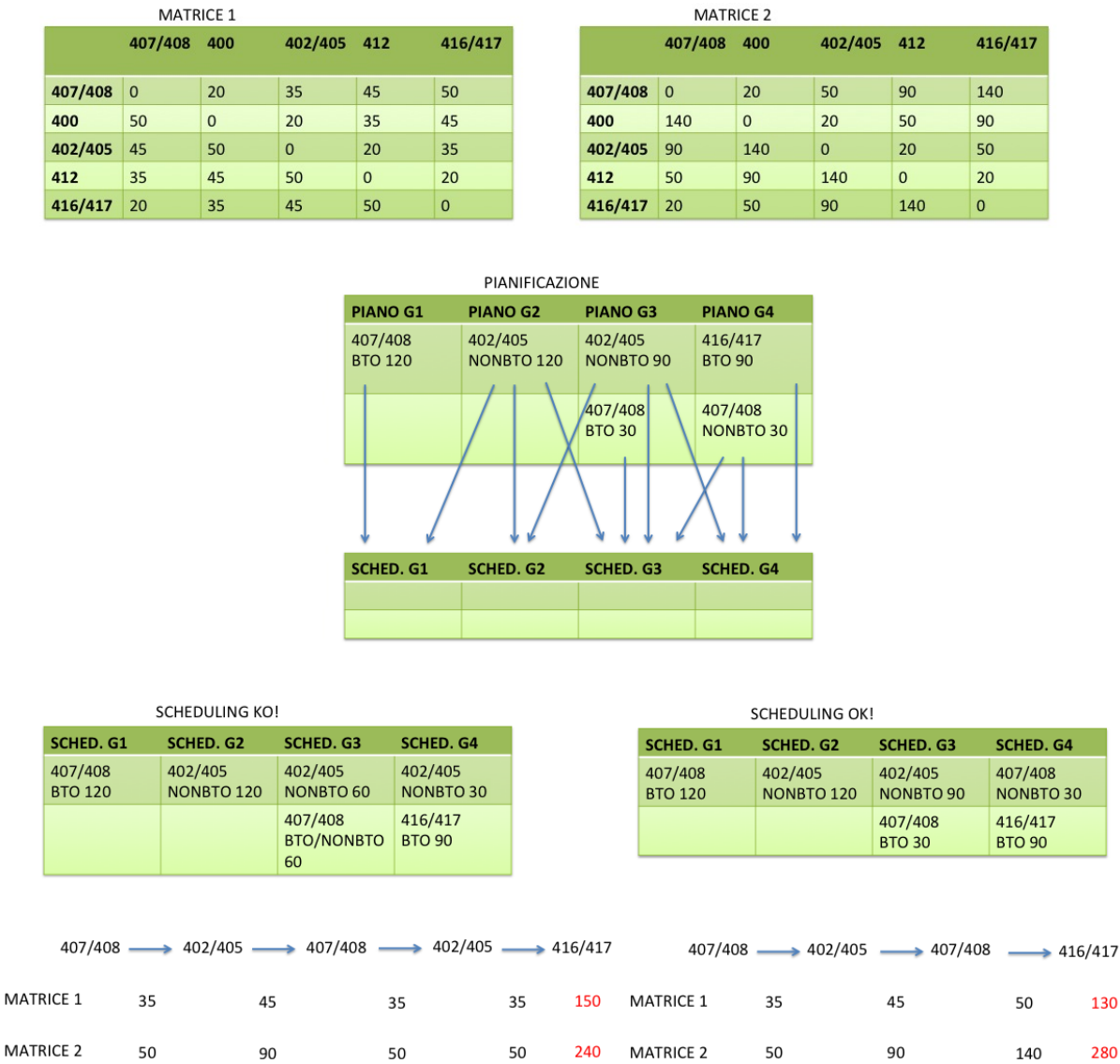


Figura 4.3: Esempio di scheduling con diverse matrici di costo

Per non permettere che si verifichi questa situazione assurda per lo stabilimento, è sufficiente associare dei costi ad ogni arco in modo che: ogni stato x abbia un costo di raggiungere qualsiasi altro stato y minore di qualsiasi cammino che parte dallo stato x e che arriva allo stato y .

Oltre ai costi della matrice delle transizioni dei modelli logistici, è necessario calcolare anche degli adeguati valori per la matrice che rappresenta il cambio di stato tra famiglie di prodotti (tra *BI* e *FS* e tra *LR* e *HR*), e per la matrice che rappresenta il cambio di brand (tra Whirlpool e no Whirlpool). I valori calcolati devono essere coerenti con la priorità dichiarata dallo stabilimento, che segue l'ordine: famiglia, modello logistico e brand.

La determinazione del costo da associare ad ogni arco, come abbiamo potuto capire non è un problema di soluzione immediata, abbiamo quindi fatto ricorso ad un semplice modello di programmazione matematica che facesse i calcoli al posto nostro.

Data una sequenza circolare ottima, per fare in modo che ogni arco (i,j) abbia un costo minore di qualsiasi insieme di due o più archi che partano dallo stato i e arrivino allo stato j , è sufficiente che per ogni stato i , le differenze tra i costi degli archi successivi siano decrescenti in accordo con il numero degli stati saltati. Supposto j come lo stato che segue i nella sequenza ottima, e supposti $j+1, j+2, \dots, j+N-1$ gli stati che seguono j nella sequenza ottima, la differenza dei costi tra l'arco (i,j) e l'arco (i,i) deve essere maggiore della differenza dei costi tra l'arco $(j,j+1)$ e l'arco (i,j) e così via.

Il cambio della famiglia di produzione deve dominare i costi delle transizioni tra modelli logistici, pertanto il costo per il cambio di famiglia deve essere vincolato a superare la transizione di costo massimo (tra modelli logistici) moltiplicata per un certo parametro q maggiore di uno. Al contrario il cambio di brand deve essere dominato dalle transizioni tra modelli logistici, deve quindi essere minore della minor differenza tra transizioni, ma deve anche essere maggiore di zero. Il costo del cambio di brand può quindi essere minore della minor differenza tra transizioni moltiplicata per un parametro h_1 (compreso tra zero e uno), e al contempo maggiore della minor differenza tra transizioni moltiplicata per un parametro h_2 , maggiore zero e minore di h_1 . Il costo di non soddisfare una domanda deve sempre essere maggiore del costo

di qualsiasi transizione, in modo che non venga mai tralasciata una produzione. Nel caso pessimo, in cui si debba eseguire una transizione che comporti il doppio cambio contemporaneo di: famiglia, modello logistico (transizione di costo massimo) e del brand, essa deve avere un costo complessivo minore del minor costo di non soddisfare la domanda nel periodo congelato,² che indichiamo con d , moltiplicato per un parametro w compreso tra zero e uno. L'obiettivo del problema è la massimizzazione della minima differenza tra le transizioni.

Non è necessario dichiarare una variabile per ogni transizione di stato della matrice. È sufficiente dichiarare un vettore di variabili (x_i) che rappresenta le transizioni da uno stato a tutti gli altri stati (nell'ordine della sequenza ottima). La matrice finale avrà gli stessi valori del vettore di variabili ma traslati di posizione. Altre variabili presenti sono: il costo del cambio di produzione tra famiglie di prodotti (*family*), il cambio di produzione tra brand di prodotti (*brand*) e la variabile ausiliaria α .

$$\max \quad \alpha \quad (4.1)$$

$$s.t. \quad x_{i+1} - x_i \geq k(x_{i+2} - x_{i+1}) \quad \forall i = 1, \dots, N \quad (4.2)$$

$$\alpha \leq x_i \quad \forall i = 1, \dots, N \quad (4.3)$$

$$family \geq qx_i \quad \forall i = 1, \dots, N \quad (4.4)$$

$$brand \geq h_2 \alpha \quad (4.5)$$

$$brand \leq h_1 \alpha \quad (4.6)$$

$$2family + 2x_N + 2brand \leq wd \quad (4.7)$$

$$x_0 = 0 \quad (4.8)$$

$$family \in \mathbb{Z}^+$$

$$brand \in \mathbb{Z}^+$$

$$\alpha \in \mathbb{Z}^+$$

$$x_i \in \mathbb{Z}^+$$

$$\forall i = 1, \dots, N$$

La funzione obiettivo (4.1) massimizza la variabile ausiliaria α , che è vincolata ad essere minore o uguale alla minima differenza tra le transizioni (4.3). La differenza tra le transizioni successive della sequenza ottima è obbligata ad essere decrescente dal vincolo 4.2. Il parametro k serve ad aumentare il limite minimo che la differenza tra successive transazioni deve

²Perchè lo scheduling è eseguito solamente nei giorni di periodo congelato.

superare, il valore di k che abbiamo utilizzato è di 1.4.

Il vincolo 4.4 stabilisce che il costo per il cambio di produzione tra famiglie deve superare il costo massimo della transizioni aumentato di un certo fattore q . Il valore di q che abbiamo utilizzato è 2.0. I vincoli 4.5 e 4.6 limitano il costo del cambio di brand tra produzioni ad essere compreso tra $h_2\alpha$ e $h_1\alpha$. I valori utilizzati per h_2 e h_1 sono rispettivamente 0.5 e 0.8. Il caso più costoso tra le transizioni di stato è limitato ad essere minore del costo minimo di non soddisfare la domanda (wd) dai vincoli 4.7. Il valore assegnato al parametro w è di 0.999. Il valore di d anticipiamo qui essere di 3000³. Tutte la variabili (x_i, α , *family* e *brand*) sono vincolate ad essere dei valori interi positivi.

I valori ottenuti per la famiglia *FL* sono mostrati in figura 4.44.

FAMILY	BI	FS
BI	0	992
FS	992	0
BRAND	Whirlpool	No Whirlpool
Whirlpool	0	11
NO Whirlpool	11	0

MOD. LOG. FL	465	480	488	481	486	483	484	485
465	0	158	270	350	407	447	475	495
480	407	0	158	270	350	407	447	475
488	350	407	0	158	270	350	407	447
481	270	350	407	0	158	270	350	407
486	158	270	350	407	0	158	270	350
483	350	407	447	475	495	0	158	270
484	270	350	407	447	475	270	0	158
485	158	270	350	407	447	158	270	0

Tabella 4.44: La matrice delle transizioni FL

I valori ottenuti per la famiglia *TL* sono mostrati in figura 4.45.

FAMILY	HR	LR
HR	0	994
LR	994	0
BRAND	Whirlpool	No Whirlpool
Whirlpool	0	7
NO Whirlpool	7	0

MOD. LOG. TL	431/432	433/434	435/437	449/441/442	407/408	400	402/405	412	416/417
431/432	0	154	264	341	396	435	462	481	494
433/434	341	0	154	264	341	396	435	462	481
435/437	264	341	0	154	264	341	396	435	462
449/441/442	154	264	341	0	154	264	341	396	435
407/408	435	462	481	494	0	154	264	341	396
400	396	435	462	481	396	0	154	264	341
402/405	341	396	435	462	341	396	0	154	264
412	264	341	396	435	264	341	396	0	154
416/417	154	264	341	396	154	264	341	396	0

Tabella 4.45: La matrice delle transizioni TL

RESOURCE_ID	SETUP_FEATURE	SETUP_MATRIX_ID
ZE_Pf34_21_ing	HR/LR	matrice_HR/LR
ZE_Pf34_21_ing	LOG_MODEL_TL	matrice_LOG_MODEL_TL
ZE_Pf34_21_ing	BRAND	matrice_BRAND
DRUM_FL	RPM	matrice_RPM_DRUM

Tabella 4.46: La tabella *ES_PPO_RESOURCE_SETUP_STATE*

La tabella 4.46 presenta il collegamento tra una risorsa e le matrici di configurazione che agiscono sulla risorsa stessa. Ogni risorsa di assemblaggio

³corrisponde al costo unitario di non soddisfare la domanda a più bassa priorità nel periodo congelato, moltiplicato per il lotto minimo.

SETUP_MATRIX_ID	FROM_STATE	TO_STATE	SETUP_TIME	SETUP_COST
matrice_HR/LR	HR	LR	0	994
matrice_LR/LR	LR	HR	0	994
matrice_LOG_MODEL_TL	431/432	433/434	0	154
matrice_RPM_DRUM	800	1000	20	0

Tabella 4.47: La tabella *ES_PPO_SETUP_MATRIX*

finale è collegata a tre matrici di configurazione per la minimizzazione dei cambiamenti di stato fra: famiglia di prodotti, modelli logistici e brand. Le matrici delle transizioni di stato sono definite dichiarando tutte le combinazioni fra stati all'interno di *PPO_SETUP_MATRIX*, la tabella 4.47 mostra come esempio alcune combinazioni utilizzate.

4.2.7 *Transactional data demands*

La domanda, oltre a specificare una finestra temporale dopo la quale non è più possibile servire il cliente, definisce un costo variabile per ogni unità di domanda non soddisfatta. Il costo di non soddisfare la domanda decreta la diversa priorità tra le tipologie di domanda. Una tipologia di domanda che possiede una priorità maggiore rispetto ad un'altra tipologia di domanda avrà un costo variabile di non soddisfazione maggiore.

Dalla scelta dei costi di insoddisfazione per la domanda dipende (caso *FL*) la fase a monte della produzione dei cestelli, che essendo soggetta a tempi morti causati dai cambi di configurazione può essere causa di domanda insoddisfatta. Il processo di analisi dei pesi per le varie tipologie di domanda è stato svolto a diretto contatto con il personale di Whirlpool ed ha prodotto i valori disponibili nella tabella 4.48.

TIPO DI DOMANDA	PERIODO CONGELATO	PRIORITA	COSTO UNITARIO DI NON SODDISFAZIONE DELLA DOMANDA
BTO	si	++++++	4000
SUP	si	+++++	3000
NONBTO	si	++++	100
BTO	no	+++	40
SUP	no	++	30
NONBTO	no	+	1

Tabella 4.48: Costi di non soddisfazione della domanda

Dall'analisi dei costi si deduce che Whirlpool è disposta a rinunciare fino a 40 unità della categoria *NONBTO* per ogni unità della categoria *BTO*. Le domande della tipologia *BTO* e *SUP* sono vincolate ad essere pianificate

ed effettivamente eseguite nello stesso giorno pianificato da *SAP APO*. Per questo motivo esse fanno riferimento al magazzino logico *PF34_BTO_SUP* che ha capacità nulla. Le domande della tipologia *NONBTO* possono essere invece soddisfatte con una più flessibilità, e fanno quindi riferimento al magazzino *PF34* che ha una capacità infinita. Le tabelle 4.49 e 4.50 mostrano alcuni esempi dei dati utilizzati per la domanda.

La tabella 4.51 mostra invece come viene limitato l'anticipo nella fase di pianificazione. Poiché le uniche tipologie di domande che possono essere soddisfatte con una certa flessibilità, sono quelle della categoria *NONBTO*, per tutte queste domande è definito un'anticipo massimo che non può precedere l'istante di tempo del campo *DUE_DATE* (per ogni unità di domanda soddisfatta prima di *DUE_DATE* è pagato un costo fisso). Per vincolare l'anticipo massimo, e quindi restringere il problema di pianificazione, è utilizzato un costo di *EarlinessFixedCost* infinito che l'applicazione interpreta come un vero e proprio vincolo. Il valore di *DUE_DATE* è posto al massimo anticipo consentito, che per la tipologia *NONBTO* nel periodo congelato è di un giorno, mentre per la categoria *NONBTO* fuori dal periodo congelato è di due giorni.

DEMAND_ID	NAME	MATERIAL_ID	STORAGE_UNIT_ID	QUANTITY	DELIVERY_START_MIN
BTO_858411629080J	BTO_858411629080	858411629080	PF34.BTO_SUP	35	28/6/2010 6.00
NONBTO_859396949090J	NONBTO_859396949090	858411629080	PF34	120	28/6/2010 6.00
SUP_859365118000J	BTO_859365118000	859365118000	PF34.BTO_SUP	35	28/6/2010 6.00

Tabella 4.49: La tabella *ES_PPO_DEMAND_P_1*

DELIVERY_END_MAX	NON_DELIVERY_VARIABLE_COST	MAX_NUMBER_OF_PEGGING_ARCS
28/6/2010 22.00	4000	INF
29/6/2010 22.00	100	INF
28/6/2010 22.00	3000	INF

Tabella 4.50: La tabella *ES_PPO_DEMAND_P_2*

DEMAND_ID	DUE_TIME	EARLINESS_FIXED_COST
NONBTO_859396949090J	27/6/2010 6.00	INF

Tabella 4.51: La tabella *ES_PPO_DUE_DATE*

4.2.8 Transactional data procurements

Gli approvvigionamenti dei componenti *tub h4* e *aquastop*, che avvengono in quantità costanti e in periodo di tempo costanti, sono rappresentati attra-

verso la tabella *PPO_PROCUREMENT*. La simulazione degli approvvigionamenti costanti somma di volta in volta le quantità rimaste quando in un dato giorno non tutti i componenti sono utilizzati. In questa tabella sono anche trattate le quantità iniziali dei cestelli *FL* e dei componenti: timer, motore e bilancia. Le quantità iniziali di quest'ultimi sono gestite mediante delle quantità infinite. La tabella 4.52 mostra un esempio dei dati utilizzati.

PROCUREMENT_ID	NAME	MATERIAL_ID	STORAGE_UNIT_ID	QUANTITY	RECEIPT_TIME
tub_h4_28/6/2010	tub_h4_28/6/2010	tub_h4	PF34	1220	28/6/2010 0.00
tub_h4_29/6/2010	tub_h4_28/6/2010	tub_h4	PF34	1220	29/6/2010 0.00
aquastop_28/6/2010	tub_h4_28/6/2010	aquastop	PF34	800	28/6/2010 0.00
aquastop_29/6/2010	tub_h4_29/6/2010	aquastop	PF34	800	29/6/2010 0.00
timer_FL_1	timer_FL_1_INF	461971414635	PF34	INF	28/6/2010 0.00

Tabella 4.52: La tabella *ES_PPO_PROCUREMENT*

4.3 Simulazioni e risultati ottenuti

Per tradurre i vantaggi offerti da *PPO* in numeri, sono state eseguite diverse simulazioni. I dati utilizzati nelle simulazioni sono i piani di produzione generati da *SAP APO* nei giorni 28/6/2010, 29/6/2010 e 30/6/2010 a cui nel seguito si fa riferimento come insieme1, insieme2 e insieme3. Essi rappresentano tutti i dati che Whirlpool ci ha messo a disposizione.

Tutti i risultati sono stati ottenuti utilizzando le seguente piattaforma:

- Intel Core 2 Duo T5200, 1.6 GHz
- 2048 MB di memoria fisica
- S.o. windows xp professional sp3
- Plant PowerOps 3.3

4.3.1 Confronto delle soluzioni di pianificazione

Per valutare i vantaggi apportati dell'utilizzo di *PPO*, è indispensabile poter confrontare i risultati ottenuti dalle simulazioni (faremo riferimento alle simulazioni del modello obiettivo del progetto come simulazioni flessibili). Per

garantire una stessa base di confronto abbiamo eseguito delle simulazioni di ottimizzazione in *PPO* sulla programmazione di *SAP APO* reale. In questo caso la domanda può essere soddisfatta solo durante la finestra temporale giornaliera stabilita da *SAP APO*⁴. A questo tipo di simulazione faremo successivamente riferimento come simulazione rigida.

L'orizzonte di pianificazione è stato concordato con l'*SCM* sulla base dei componenti che hanno il tempo di fornitura più alto. È stato definito della dimensione dell'attuale periodo congelato (sei giorni lavorativi), più le successive tre settimane lavorative, per un totale di circa quattro settimane lavorative.

Poiché gli unici vincoli incrociati tra le due famiglie di prodotti *FL* e *TL* sono a livello di componenti (timer, motore e bilancia), che sono trattati mediante delle quantità infinite, abbiamo potuto spezzare l'ottimizzazione della simulazione rigida (dati per il confronto). In questo modo la complessità del problema, che è in funzione del numero di ricette e del numero di *bucket*, è diminuita. Per le simulazioni rigide, siamo così riusciti ad ottenere delle soluzioni ottime, che rappresentano i modi migliori di realizzare il piano di *SAP APO* tenendo conti dei vincoli dello stabilimento [6].

La soluzione del modello obiettivo del progetto (simulazioni flessibili), abbiamo deciso di ottenerla senza decomporre il problema per due importanti motivazioni. Per prima cosa è doveroso informare il cliente sulle tempistiche richieste dall'esecuzione dell'ottimizzazione nel caso in cui il progetto venga effettivamente implementato, e nel caso esso possa essere aggiornato con l'aggiunta delle ricette per l'approvvigionamento dei componenti critici⁵. L'altro motivo riguarda l'utilizzo dello strumento in stabilimento, dove riteniamo che il modello possa essere utile in casi in cui bisogna stilare delle sequenze che tengano conto dei componenti critici in quantità limitata.

Concedendo a *PPO* un tempo limite di 90 minuti, abbiamo ottenuto per tutti gli insiemi di dati, delle soluzioni che si discostano dalla soluzione ottima con un gap massimo compreso tra il 3% e il 7%. In seguito sono com-

⁴Ottenuto dal modello obiettivo del progetto, ma con entrambe le storage unit a capacità nulla, e con le finestre temporali ristrette ad un giorno per tutte le tipologie di domanda.

⁵O quantomeno rappresentare i componenti critici con delle quantità finite.

parati, tramite degli istogrammi, i risultati delle simulazioni rigide, e delle simulazioni flessibili.

Confronto pianificazioni *FL* del 28/6/2010

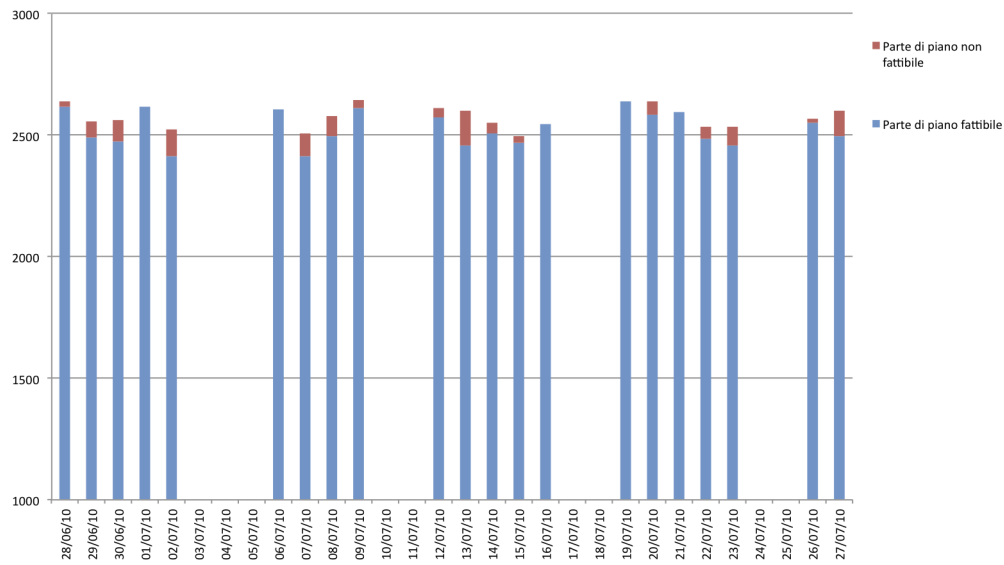


Figura 4.4: Pianificazione simulazione rigida *FL* nel giorno 28/6/2010

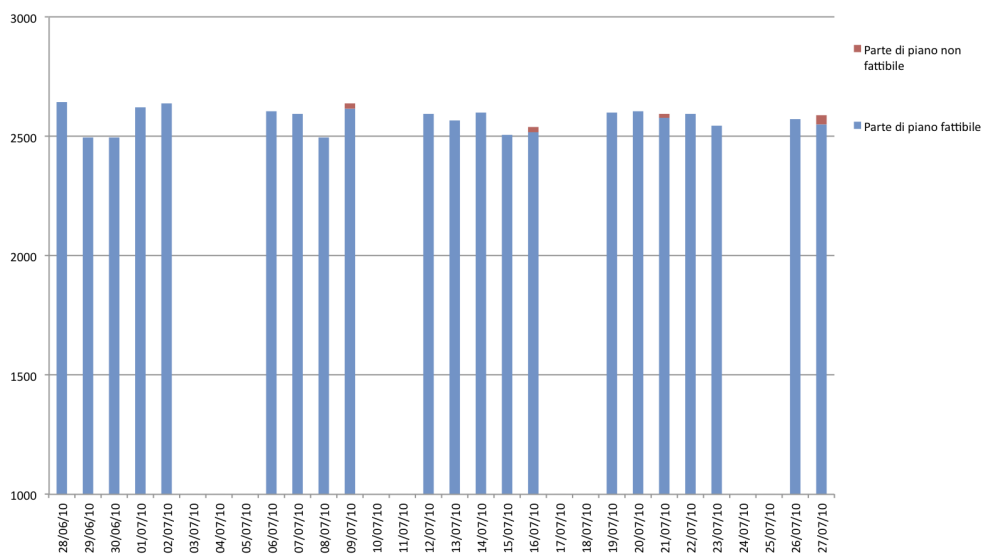
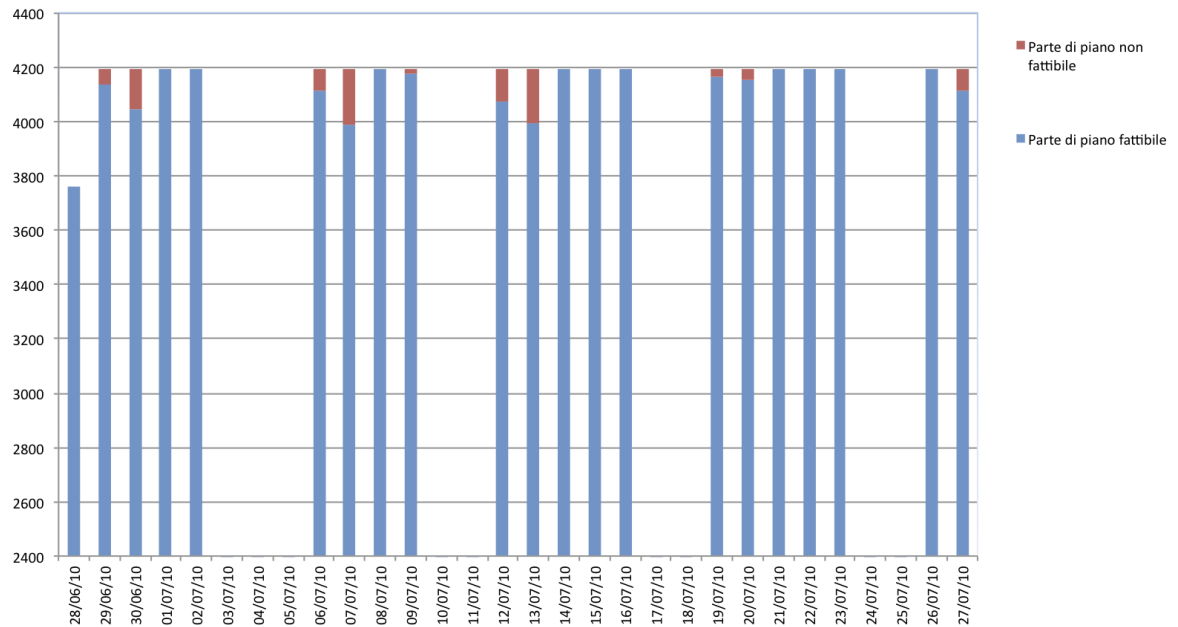
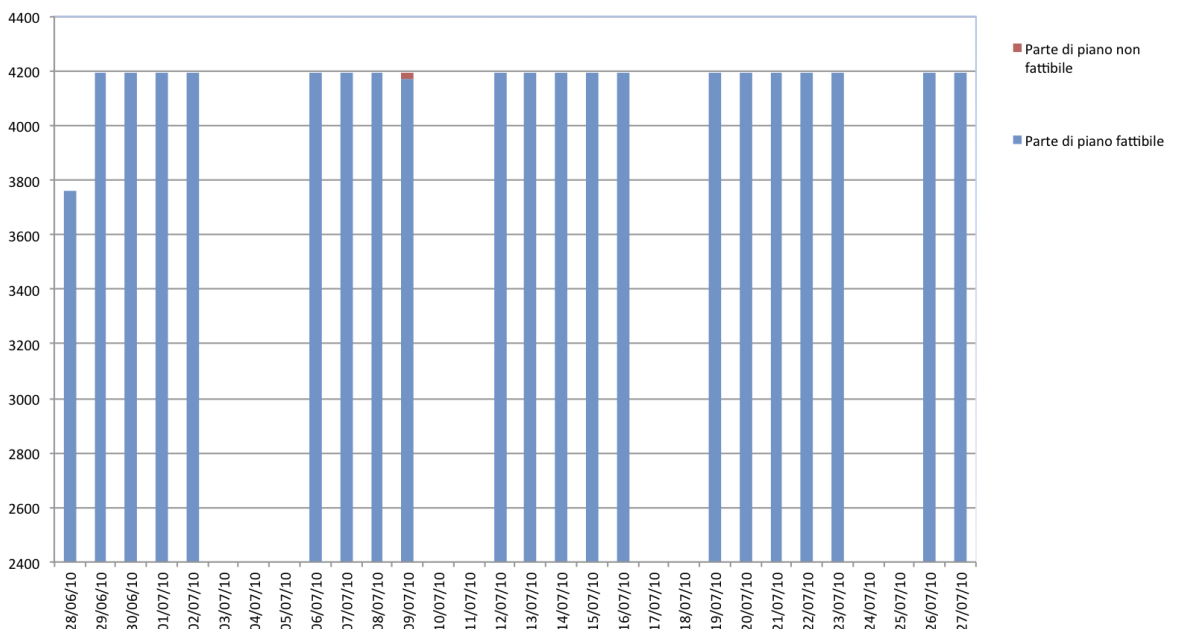
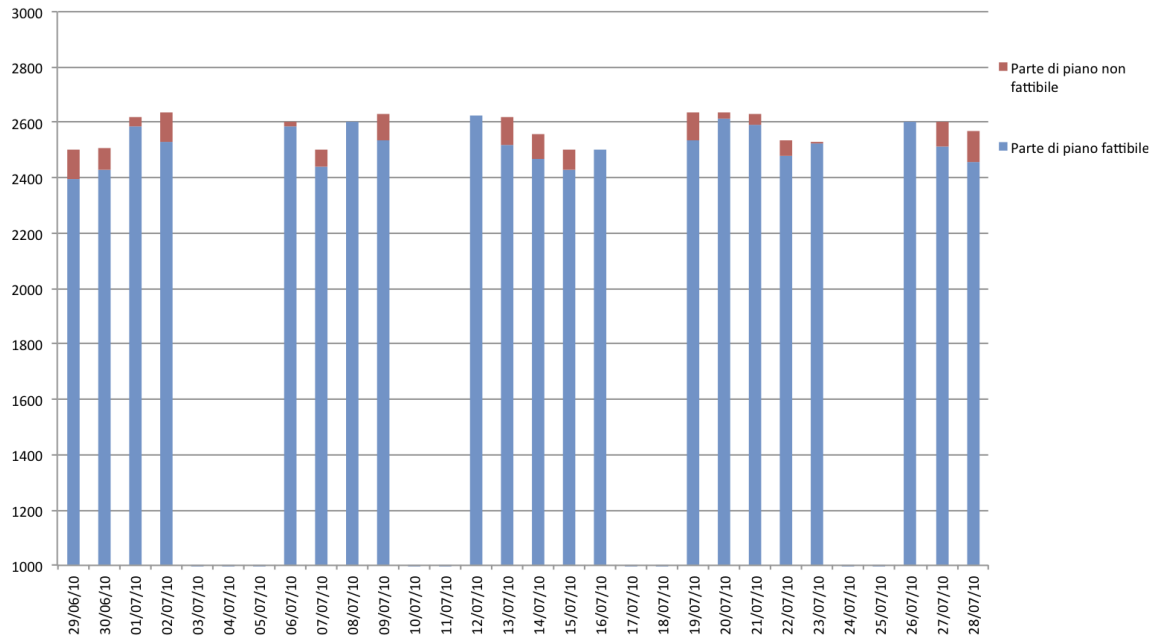
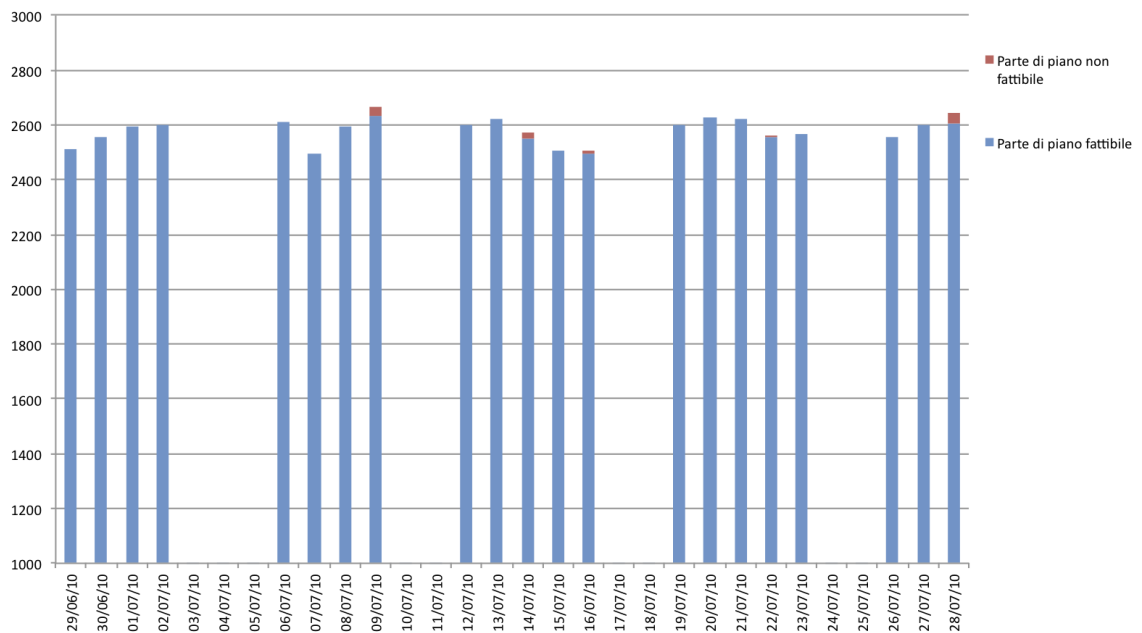
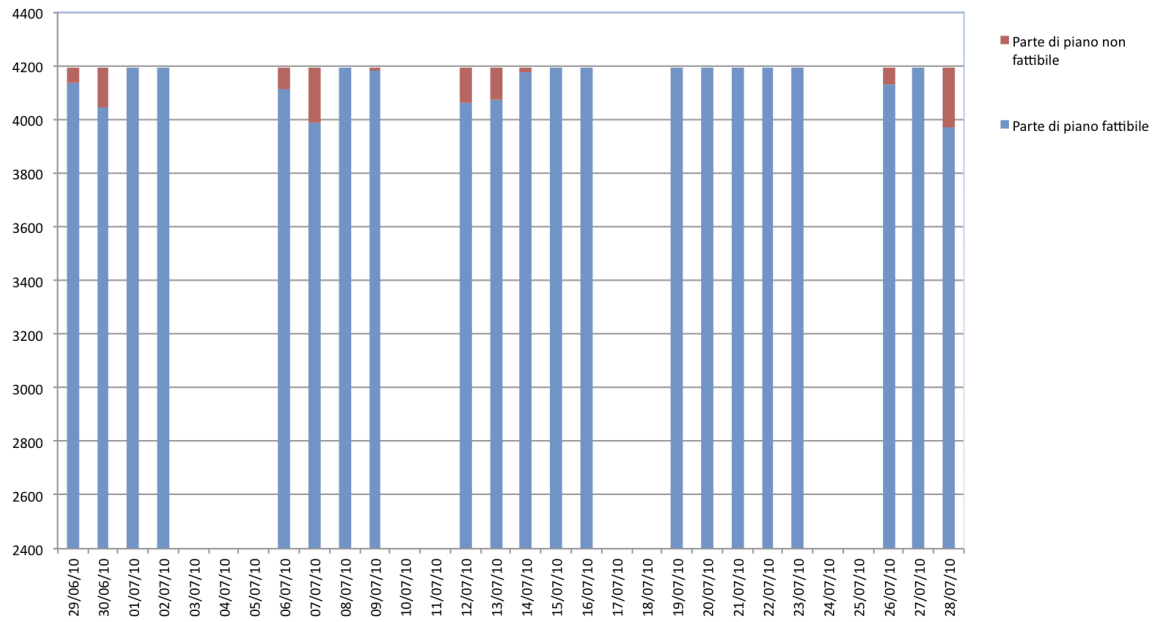
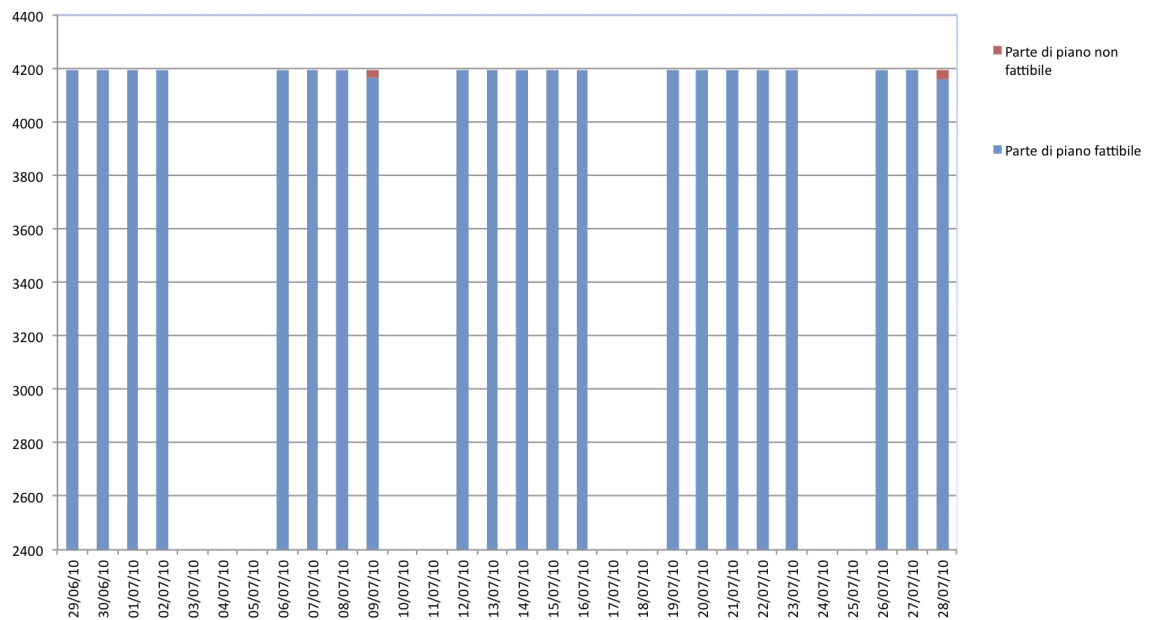
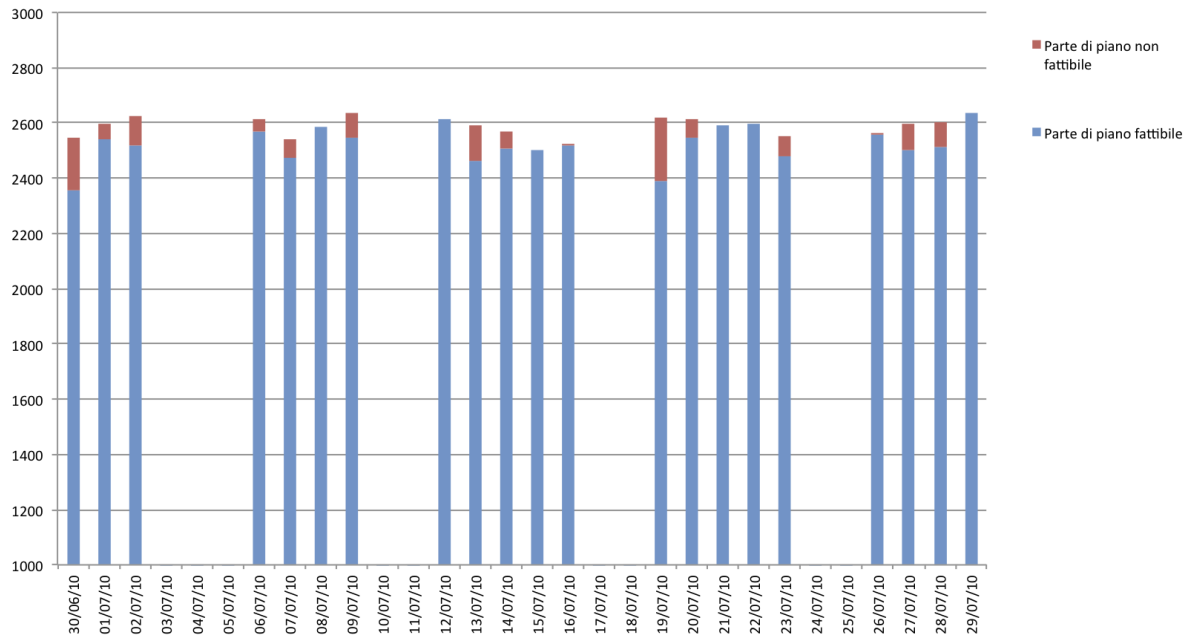
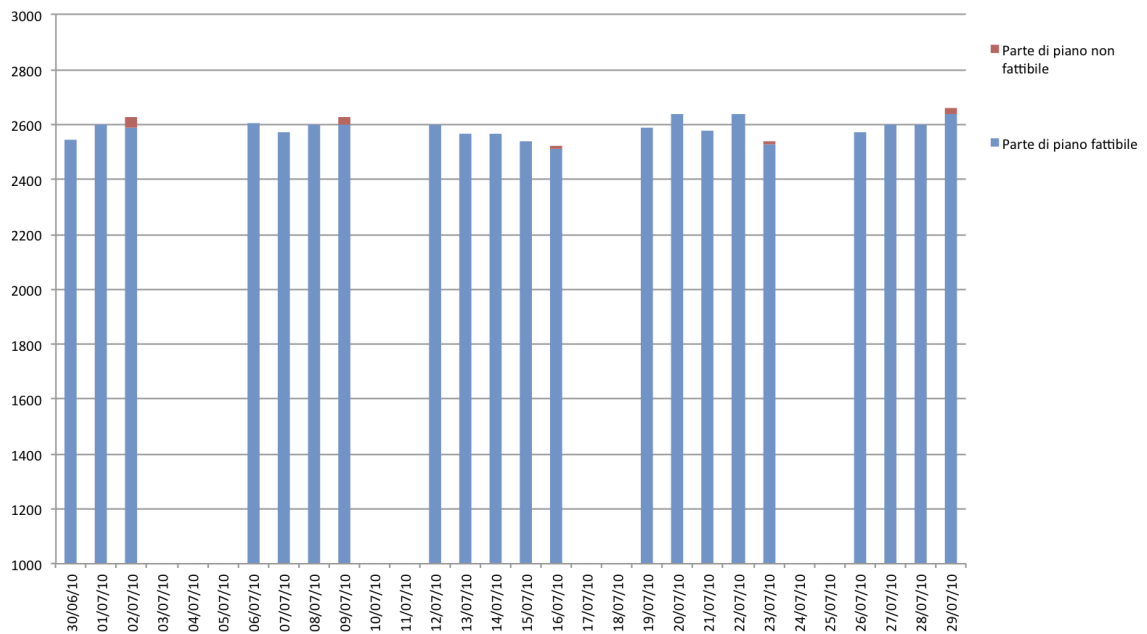


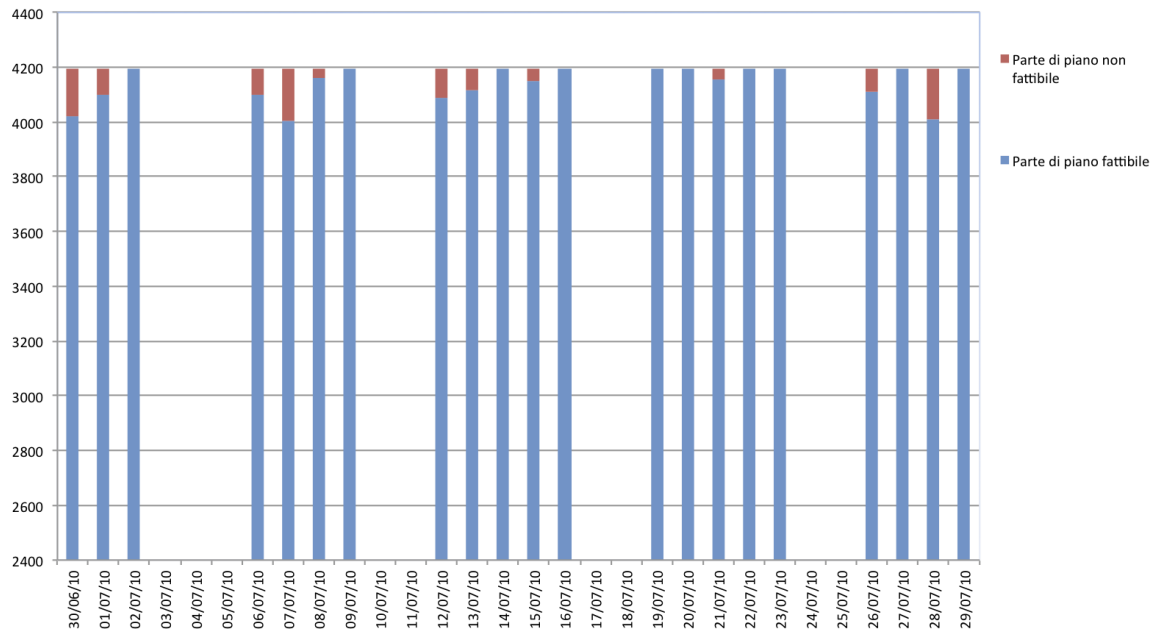
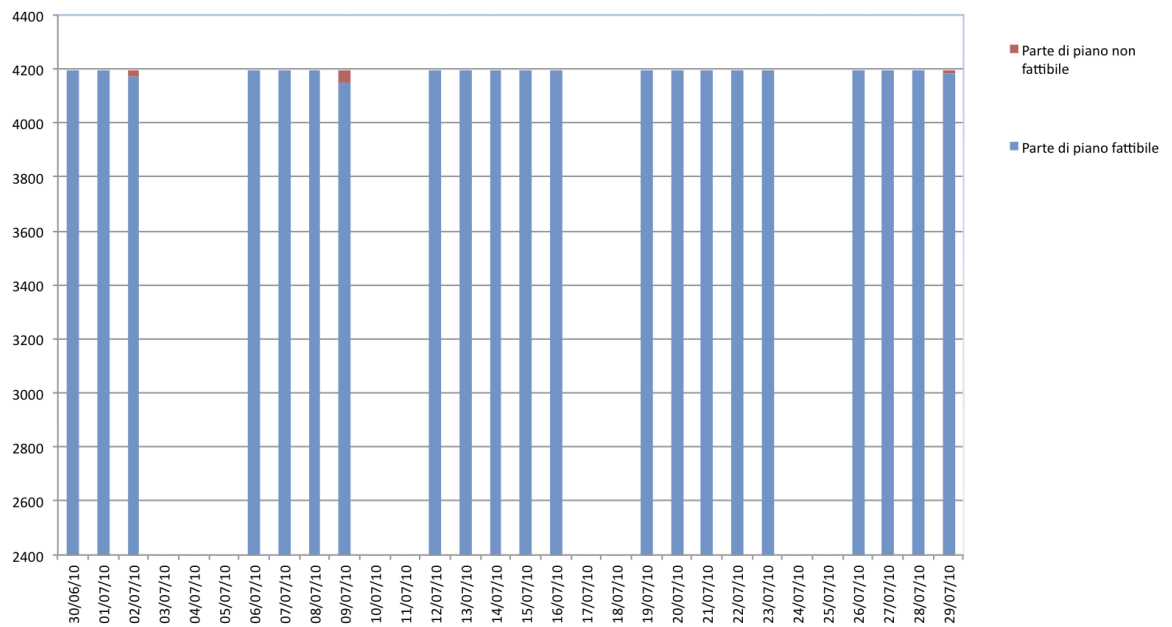
Figura 4.5: Pianificazione simulazione flessibile *FL* nel giorno 28/6/2010

Confronto pianificazioni *TL* del 28/6/2010Figura 4.6: Pianificazione simulazione rigida *TL* nel giorno 28/6/2010Figura 4.7: Pianificazione simulazione flessibile *TL* nel giorno 28/6/2010

Confronto pianificazioni *FL* del 29/6/2010Figura 4.8: Pianificazione simulazione rigida *FL* nel giorno 29/6/2010Figura 4.9: Pianificazione simulazione flessibile *FL* nel giorno 29/6/2010

Confronto pianificazioni *TL* del 29/6/2010Figura 4.10: Pianificazione simulazione rigida *TL* nel giorno 29/6/2010Figura 4.11: Pianificazione simulazione flessibile *TL* nel giorno 29/6/2010

Confronto pianificazioni *FL* del 30/6/2010Figura 4.12: Pianificazione simulazione rigida *FL* nel giorno 30/6/2010Figura 4.13: Pianificazione simulazione flessibile *FL* nel giorno 30/6/2010

Confronto pianificazioni *TL* del 30/6/2010Figura 4.14: Pianificazione simulazione rigida *TL* nel giorno 30/6/2010Figura 4.15: Pianificazione simulazione flessibile *TL* nel giorno 30/6/2010

Come si nota dai grafici (figure: 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15), *PPO* (simulazioni flessibili), oltre a permettere il rilascio di piani di produzione fattibili, che si dovrebbe tradurre ad un miglioramento della gestione degli ordini diretti, mantiene elevato il carico su tutte le risorse, conservando per quasi tutti i giorni lo stesso livello di produzione pianificato da *SAP APO*. In riferimento al periodo congelato, l'utilizzo del modello comporta dei vantaggi medi (sui tre insiemi di dati), in termini di produttività, del 2.5% per la categoria *FL*, e dell'1.6% per la categoria *TL*. In numeri, l'aumento è di circa 130 pezzi totali giornalieri, rispetto al piano realmente fattibile (simulazioni rigide) generato da *SAP APO*. Nella tabella 4.53 è riportato un consuntivo dei risultati ottenuti per ogni insieme di dati, si può notare come la percentuale media di piano non fattibile si aggira complessivamente intorno al 3.5%. Tuttavia, i picchi massimi di non fattibilità giornaliera sono piuttosto variabili, e in qualche caso raggiungono anche dei valori vicini al 10% unendo le due principali famiglie.

Nella tabella 4.53, nella colonna *Q PIANO SAP APO* sono riportati i quantitativi della pianificazione generata da *SAP APO*; nella colonna *Q SIM. SAP APO* sono riportati i quantitativi ottenuti dalla simulazione rigida; il campo *PERC. MEDIA NON FATTIBILITÀ* è una media (sui 21 giorni lavorativi⁶) della percentuale di non fattibilità della simulazione rigida; il campo *PICCO MASSIMO* rappresenta la più alta percentuale di non fattibilità ottenuta in ogni insieme di dati; il campo *PERC. GIORNI NON FATTIBILI SAP APO* illustra i valori in percentuale dei giorni in cui la simulazione rigida non risulta totalmente fattibile; nella colonna *Q SIM. PPO* sono rappresentati i quantitativi ottenuti dalla simulazione flessibile; nella colonna *PERC. MEDIA DI MIGLIORAMENTO* sono rappresentati i valori in percentuale del miglioramento che può apportare l'utilizzo di *PPO* con la simulazione flessibile; infine nel campo *PERC. GIORNI NON A PIENO CARICO* sono illustrati i risultati ottenuti in termini di percentuali dei giorni in cui la simulazione flessibile non satura completamente le risorse di assemblaggio finale.

⁶Corrisponde al periodo congelato di sei giorni più le successive tre settimane lavorative.

INSIEME DI DATI	FAMIGLIA	Q PIANO SAP APO	Q SIM. SAP APO	PERC. MEDIA NON FATTIBILITÀ	PICCO MASSIMO	PERC. GIORNI NON FATTIBILI SAP APO	Q SIM. PPO	PERC. MEDIA DI MIGLIORAMENTO	PERC. GIORNI NON A PIENO CARICO
insieme 1	FL	54154	53096	1,99	5,54	76,19	54059	1,81	19,05
insieme 1	TL	87602	86643	1,11	4,91	47,62	87582	1,08	4,76
insieme 2	FL	54159	52960	2,26	4,28	80,95	54112	2,18	23,81
insieme 2	TL	88032	86988	1,20	5,25	47,72	87971	1,13	9,52
insieme 3	FL	54332	53007	2,50	8,85	71,43	54272	2,39	23,78
insieme 3	TL	88032	86950	1,24	4,41	52,38	87954	1,15	14,29

Tabella 4.53: Consuntivo dei risultati ottenuti

4.3.2 Confronto delle soluzioni di scheduling

Poichè in fase di pianificazione, non vengono ottimizzate le configurazioni delle linee di assemblaggio finale, è conveniente concedere una certa flessibilità alla fase di scheduling rispetto alla pianificazione, per migliorare i risultati dell'obiettivo di stabilimento. Le tipologie *BTO* e *SUP*, come richiesto dall'*SCM*, non vengono mai anticipate o posticipate nemmeno nella fase di scheduling rispetto alla data pianificata da *SAP APO*, grazie all'utilizzo della storage unit logica.

Sulle domande *NONBTO*, abbiamo deciso di permettere un anticipo massimo e un posticipo massimo rispetto al *bucket* pianificato, della durata di un giorno, tale valore (parametro) può essere variato a seconda degli obiettivi perseguiti. Con il valore di un giorno, per questo parametro, le produzioni per le domande della tipologia *NONBTO* possono essere effettivamente eseguite due giorni prima rispetto alla data pianificata da *SAP APO*. L'accordo con Whirlpool prevede lo scheduling delle attività per quattro giorni. I risultati dalle simulazioni di scheduling, effettuate sui tre insiemi di dati, sono stati ottenuti concedendo a *PPO* un tempo limite massimo di 30 minuti. Con queste tempistiche, abbiamo ottenuto per tutte le simulazioni flessibili eseguite su tutti gli insiemi di dati, delle sequenze di attività che non forniscono la garanzia di ottimalità, ma che raggruppano le produzioni appartenenti alla medesima famiglia o al medesimo modello logistico in quantità superiori rispetto alle simulazioni rigide⁷. Anche il numero totale dei cambi di configurazione (cambi di famiglia e cambi di modelli logistici)

⁷Per il confronto delle soluzioni di scheduling, le simulazioni rigide sono state ottimizzate sia in pianificazione, che nella fase di scheduling, con l'unico vincolo delle risorse di assemblaggio finale, in modo da poter confrontare uno scheduling di quantitativi simili. Inoltre, per le simulazioni rigide, le produzioni possono essere effettivamente eseguite solo nel giorno pianificato.

ottenuto dallo scheduling delle simulazioni flessibili è migliore (minore), rispetto al numero totale degli stessi tipi di cambi di configurazione ottenuto con le simulazioni rigide. Il riscontro di quanto ho appena affermato è deducibile dalla tabella 4.62, che contrappone, per le simulazioni rigide e flessibili, il numero di cambi di configurazione delle soluzioni di scheduling riportate, e dalle tabelle 4.63 e 4.64. Le tabelle 4.63 e 4.64 confrontano la dimensione dei lotti medi aggregati per famiglia⁸ e per modelli logistici, relative alle soluzioni di scheduling delle simulazioni rigide e flessibili su tutti gli insiemi di dati. La figura 4.16 mostra il gantt delle attività riferito alle risorse della categoria *FL*, che *PPO* mette a disposizione dopo l'esecuzione di un'ottimizzazione di scheduling. Dall'immagine si possono notare le diverse fasi della produzione: l'ingresso sulla catena, l'attraversamento e l'uscita del prodotto finito.

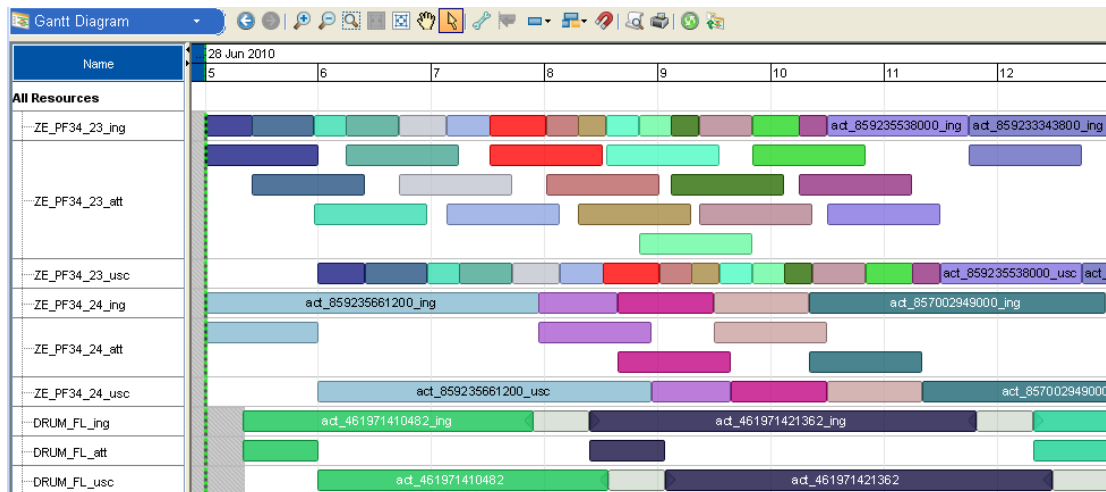


Figura 4.16: Gantt dello scheduling di *PPO*

Nelle tabelle: 4.54, 4.55, 4.56, 4.57, 4.58, 4.59, 4.60, 4.61 è riportato un confronto delle soluzioni di scheduling tra la simulazione rigida e quella flessibile in riferimento allo stesso insieme di dati. Il campo *FAM* rappresenta la famiglia; il campo *MOD* rappresenta il modello logistico; il campo *TIPO* è la tipologia della domanda; le colonne *CODICE* e *Q* rappresentano la coppia prodotto finito-quantità; il campo *A/P* indica se la produzione è stata

⁸Solo sulle linee che possono produrre per più famiglie.

anticipata (A) o posticipata (P); infine la colonna *DATA PIANO SAP APO* illustra il giorno di produzione pianificato da *SAP APO*.

Linea 24 giorno 28/6/2010

FAM	MOD	TIPO	CODICE	Q	A/P	DATA PIANO SAP APO	FAM	MOD	TIPO	CODICE	Q
FS	488	NONBTO	858365642000	211		28/06/10	FS	481	NONBTO	859235661200	238
FS	488	NONBTO	859230026000	43		28/06/10	FS	481	NONBTO	859233915200	55
FS	488	NONBTO	858080538000	35		28/06/10	BI	483	NONBTO	857003010000	67
BI	483	NONBTO	857003010000	67		28/06/10	BI	483	NONBTO	857004038700	65
BI	483	NONBTO	857004038700	65		28/06/10	BI	484	NONBTO	857002949000	88
BI	484	NONBTO	857002949000	88							

Tabella 4.54: Confronto tra lo scheduling della simulazione rigida (sinistra) e della simulazione flessibile (destra) per la linea 24 nel giorno 28/6/2010

Linea 23 giorno 28/6/2010

FAM	MOD	TIPO	CODICE	Q	A/P	DATA PIANO SAP APO	FAM	MOD	TIPO	CODICE	Q
FS	465	BTO	859230143000	55		28/06/10	FS	465	BTO	859230143000	55
FS	488	NONBTO	858080538000	103	A	29/06/10	FS	480	NONBTO	859255510000	70
FS	488	NONBTO	858080638000	125	A	29/06/10	FS	480	NONBTO	859249010200	34
FS	488	NONBTO	858080738900	122	A	29/06/10	FS	480	NONBTO	859249210000	60
FS	488	NONBTO	859230026000	54	A	29/06/10	FS	480	NONBTO	859256010100	56
FS	488	NONBTO	858080926000	50	A	29/06/10	FS	480	NONBTO	859256410200	48
FS	488	NONBTO	859237810000	30	A	29/06/10	FS	480	NONBTO	859256610100	64
FS	488	NONBTO	859233343800	214	A	29/06/10	FS	480	NONBTO	859295649000	35
FS	488	NONBTO	858365642100	62	A	29/06/10	FS	480	NONBTO	859255010100	33
FS	488	NONBTO	859233910100	54		28/06/10	FS	488	BTO	858365642100	35
FS	488	NONBTO	859234110000	31		28/06/10	FS	488	BTO	858080738900	34
FS	488	BTO	858080738900	34		28/06/10	FS	488	BTO	858081549000	31
FS	488	BTO	858081549000	31		28/06/10	FS	488	NONBTO	858365642100	62
FS	488	BTO	858365642100	35		28/06/10	FS	488	NONBTO	859233910100	54
FS	481	NONBTO	859230029000	40		28/06/10	FS	488	NONBTO	859234110000	31
FS	481	NONBTO	859233415200	120		28/06/10	FS	488	NONBTO	858365642000	211
FS	481	NONBTO	859233915200	55		28/06/10	FS	488	NONBTO	858080538000	103
FS	481	NONBTO	859234310000	244		28/06/10	FS	488	NONBTO	858080538000	35
FS	481	NONBTO	859233910000	168		28/06/10	FS	488	NONBTO	859230026000	43
FS	481	NONBTO	859234015200	124		28/06/10	FS	488	NONBTO	859237810000	30
FS	481	NONBTO	859235661200	238		28/06/10	FS	488	NONBTO	858080738900	122
FS	481	NONBTO	858395903180	103		28/06/10	FS	488	NONBTO	859230026000	54
FS	481	NONBTO	858081129000	40		28/06/10	FS	488	NONBTO	858080926000	50
						28/06/10	FS	488	NONBTO	859233343800	214
						28/06/10	FS	488	NONBTO	858080638000	125
						28/06/10	FS	481	NONBTO	859234310000	88
						28/06/10	FS	481	NONBTO	859233910000	168
						28/06/10	FS	481	NONBTO	859230029000	40
						28/06/10	FS	481	NONBTO	859233415200	42
						28/06/10	FS	481	NONBTO	858395903180	101

Tabella 4.55: Confronto tra lo scheduling della simulazione rigida (sinistra) e della simulazione flessibile (destra) per la linea 23 nel giorno 28/6/2010

Linea 24 giorno 29/6/2010

FAM	MOD	TIPO	CODICE	Q	A/P	DATA PIANO SAP APO	FAM	MOD	TIPO	CODICE	Q
BI	484	BTO	857004101700	30	A	30/06/10	BI	484	NONBTO	857004129700	81
BI	485	BTO	857004438700	54		29/06/10	BI	484	BTO	857004101700	30
BI	485	BTO	857004510000	73	A	30/06/10	BI	484	NONBTO	858440315000	39
BI	485	BTO	857004529700	67		29/06/10	BI	485	BTO	857004438700	54
FS	480	NONBTO	859256410200	48		29/06/10	BI	485	BTO	857004510000	73
FS	486	NONBTO	859235761200	100		29/06/10	BI	485	BTO	857004529700	67
FS	488	NONBTO	859233343800	63	A	30/06/10	BI	485	NONBTO	855497503970	32

Tabella 4.56: Confronto tra lo scheduling della simulazione rigida (sinistra) e della simulazione flessibile (destra) per la linea 24 nel giorno 29/6/2010

Linea 23 giorno 29/6/2010

FAM	MOD	TIPO	CODICE	Q	A/P	DATA PIANO SAP APO	FAM	MOD	TIPO	CODICE	Q
FS	481	NONBTO	859230029000	43	P	28/06/10	FS	481	NONBTO	858395903180	2
FS	481	NONBTO	859232910000	101	P	28/06/10	FS	481	NONBTO	858081129000	40
FS	481	NONBTO	859233415200	45	P	28/06/10	FS	481	NONBTO	859233415200	78
FS	481	NONBTO	859233910000	63	P	28/06/10	FS	481	NONBTO	859234310000	205
FS	481	NONBTO	858395903180	104	P	28/06/10	FS	481	NONBTO	859234015200	124
FS	481	NONBTO	859233915200	154		29/06/10	FS	481	NONBTO	859230029000	43
FS	481	NONBTO	858401003070	68		29/06/10	FS	481	NONBTO	859232910000	101
FS	481	NONBTO	859234015200	89		29/06/10	FS	481	NONBTO	859233415200	45
FS	481	NONBTO	859234310000	49		29/06/10	FS	481	NONBTO	859233910000	63
FS	481	NONBTO	859235661200	68		29/06/10	FS	481	NONBTO	858395903180	104
FS	481	NONBTO	858081129000	47		29/06/10	FS	481	NONBTO	859233915200	154
FS	486	BTO	858363603100	40		29/06/10	FS	481	NONBTO	858401003070	68
FS	486	NONBTO	858363703000	72		29/06/10	FS	481	NONBTO	859234015200	89
FS	486	NONBTO	858401103070	193		29/06/10	FS	481	NONBTO	859235661200	68
FS	486	NONBTO	859200812010	97		29/06/10	FS	481	NONBTO	858081129000	47
FS	486	NONBTO	859235720990	86		29/06/10	FS	486	BTO	858363603100	40
FS	486	NONBTO	859235920000	102		29/06/10	FS	486	NONBTO	858363703000	72
FS	486	NONBTO	859230620000	30		29/06/10	FS	486	NONBTO	858401103070	193
FS	486	NONBTO	859231703200	36		29/06/10	FS	486	NONBTO	859200812010	97
FS	486	NONBTO	859233115200	84		29/06/10	FS	486	NONBTO	859235720990	86
FS	480	NONBTO	859256010100	56		29/06/10	FS	486	NONBTO	859235761200	100
FS	480	NONBTO	859256610100	64		29/06/10	FS	486	NONBTO	859235920000	102
FS	480	NONBTO	859295649000	35		29/06/10	FS	486	NONBTO	859230620000	30
FS	480	NONBTO	859255010100	33		29/06/10	FS	486	NONBTO	859231703200	36
FS	480	NONBTO	859255510000	70		29/06/10	FS	486	NONBTO	859233115200	84
FS	480	NONBTO	859249010200	34	A	30/06/10	FS	465	NONBTO	859230343000	51
FS	480	NONBTO	859249210000	60							
FS	488	NONBTO	859237810000	96							
FS	488	NONBTO	858080738900	101							

Tabella 4.57: Confronto tra lo scheduling della simulazione rigida (sinistra) e della simulazione flessibile (destra) per la linea 23 nel giorno 29/6/2010

Linea 24 giorno 30/6/2010

FAM	MOD	TIPO	CODICE	Q	A/P	DATA PIANO SAP APO	FAM	MOD	TIPO	CODICE	Q
FS	488	NONBTO	858080926000	104		30/06/10	BI	485	NONBTO	855497503970	30
FS	465	NONBTO	859230143000	45	A	01/07/10	BI	485	NONBTO	857004510000	42
FS	481	BTO	859233915200	85	A	01/07/10	BI	485	NONBTO	857004529700	87
BI	484	NONBTO	857004129700	81	A	01/07/10	BI	485	NONBTO	857004438700	63
BI	484	NONBTO	858440315000	39	A	01/07/10	BI	483	NONBTO	857003010000	83
BI	485	NONBTO	855497503970	87	A	01/07/10	BI	483	NONBTO	857004038700	44
BI	485	NONBTO	857004529700	55	A	01/07/10	BI	483	NONBTO	859255310100	27

Tabella 4.58: Confronto tra lo scheduling della simulazione rigida (sinistra) e della simulazione flessibile (destra) per la linea 24 nel giorno 30/6/2010

Linea 23 giorno 30/6/2010

FAM	MOD	TIPO	CODICE	Q	A/P	DATA PIANO SAP APO	FAM	MOD	TIPO	CODICE	Q
FS	488	NONBTO	858080738900	79	A	01/07/10	FS	465	NONBTO	859230343000	133
FS	488	NONBTO	858365642000	37	A	01/07/10	FS	465	NONBTO	859230143000	127
FS	488	NONBTO	858365642100	53	A	01/07/10	FS	465	NONBTO	859230143000	39
FS	488	NONBTO	858365742000	42		30/06/10	FS	480	BTO	859233763200	62
FS	488	NONBTO	859230338000	90		30/06/10	FS	480	BTO	859233815200	105
FS	488	NONBTO	859233910100	31		30/06/10	FS	480	BTO	859256410200	37
FS	488	NONBTO	859233343800	64		30/06/10	FS	480	BTO/NONBTO	859256610100	33
FS	488	NONBTO	859234110000	74		30/06/10	FS	480	BTO	859295649000	87
FS	488	NONBTO	859233910100	31		30/06/10	FS	480	NONBTO	858365561000	82
FS	488	BTO	858081549000	98		30/06/10	FS	480	NONBTO	859230438000	45
FS	488	BTO	859230026000	212		30/06/10	FS	480	NONBTO	859232810000	149
FS	488	BTO	859237810000	116		30/06/10	FS	488	BTO	858081549000	98
FS	488	BTO	859234110000	83		30/06/10	FS	488	BTO	859230026000	212
FS	488	BTO	859233910100	1		30/06/10	FS	488	BTO/NONBTO	859237810000	212
FS	488	BTO	858080926000	90		30/06/10	FS	488	BTO	859234110000	83
FS	481	BTO	859233910000	48		30/06/10	FS	488	BTO/NONBTO	859233910100	32
FS	481	BTO	858081129000	59		30/06/10	FS	488	BTO	858080926000	90
FS	481	BTO	859230029000	108	P	29/06/10	FS	488	NONBTO	859233343800	63
FS	465	NONBTO	859230343000	153	P	29/06/10	FS	488	NONBTO	858080738900	101
FS	465	NONBTO	859230143000	52		30/06/10	FS	481	BTO	859233910000	48
FS	480	BTO	859233763200	62		30/06/10	FS	481	BTO	859233915200	85
FS	480	BTO	859233815200	105		30/06/10	FS	481	BTO	858081129000	59
FS	480	BTO	859256410200	37		30/06/10	FS	481	BTO	859230029000	108
FS	480	BTO	859256610100	9	A	01/07/10	FS	481	NONBTO	859233910000	30
FS	480	BTO	859295649000	87							
FS	480	NONBTO	859256610100	24							
FS	480	NONBTO	858365561000	82							
FS	480	NONBTO	859230438000	45							
FS	480	NONBTO	859232810000	149							

Tabella 4.59: Confronto tra lo scheduling della simulazione rigida (sinistra) e della simulazione flessibile (destra) per la linea 23 nel giorno 30/6/2010

Linea 24 giorno 1/7/2010

FAM	MOD	TIPO	CODICE	Q	A/P	DATA PIANO SAP APO	FAM	MOD	TIPO	CODICE	Q
BI	485	NONBTO	857004510000	42		01/07/10	BI	483	NONBTO	859255310100	29
BI	485	NONBTO	857004529700	32		01/07/10	FS	481	BTO/NONBTO	859233915200	30
BI	485	NONBTO	857004438700	63		01/07/10	FS	481	BTO/NONBTO	858081129000	49
BI	485	NONBTO	855497503970	30		01/07/10	FS	481	BTO/NONBTO	858395903180	51
BI	483	NONBTO	857003010000	83		01/07/10	FS	481	BTO	858401003070	121
BI	483	NONBTO	857004038700	44		01/07/10	FS	481	BTO	859230029000	52
BI	483	NONBTO	859255310100	56		01/07/10	FS	481	BTO	859232910000	176
FS	481	BTO	859233415200	38							

Tabella 4.60: Confronto tra lo scheduling della simulazione rigida (sinistra) e della simulazione flessibile (destra) per la linea 24 nel giorno 1/7/2010

Linea 23 giorno 1/7/2010

FAM	MOD	TIPO	CODICE	Q	A/P	DATA PIANO SAP APO	FAM	MOD	TIPO	CODICE	Q
FS	480	BTO	858365561000	37		01/07/10	FS	481	NONBTO	859233910000	69
FS	480	BTO	859230438000	112		01/07/10	FS	481	BTO	859232910000	165
FS	480	BTO	859232810000	55		01/07/10	FS	481	BTO	859233415200	38
FS	480	BTO	859232810100	63		01/07/10	FS	481	BTO	859234310000	45
FS	480	BTO	859233763200	76		01/07/10	FS	486	NONBTO	858363603100	32
FS	480	BTO	859233815200	113		01/07/10	FS	486	NONBTO	858363703000	59
FS	488	BTO	858080538000	64		01/07/10	FS	486	NONBTO	859230620000	147
FS	488	BTO	858080738900	40		01/07/10	FS	486	NONBTO	859231703200	45
FS	488	BTO	858365742000	63		01/07/10	FS	486	NONBTO	859232003970	213
FS	488	BTO	859237810000	113		01/07/10	FS	480	BTO	858365561000	37
FS	481	BTO	859233915200	12		01/07/10	FS	480	BTO	859230438000	112
FS	481	BTO	859232910000	341		01/07/10	FS	480	BTO	859232810000	55
FS	481	BTO	858395903180	23		01/07/10	FS	480	BTO	859232810100	63
FS	481	BTO	858401003070	121		01/07/10	FS	480	BTO	859233763200	76
FS	481	BTO	859230029000	52		01/07/10	FS	480	BTO	859233815200	113
FS	481	BTO	859234310000	45		01/07/10	FS	488	BTO	858080538000	64
FS	481	BTO	858081129000	19		01/07/10	FS	488	BTO	859237810000	113
FS	481	NONBTO	859233910000	99	P	30/06/10	FS	488	NONBTO	858080926000	104
FS	481	NONBTO	859233915200	18	P	30/06/10	FS	488	BTO/NONBTO	858080738900	119
FS	481	NONBTO	858395903180	28	P	30/06/10	FS	488	NONBTO	858365642000	37
FS	481	NONBTO	858081129000	30	P	30/06/10	FS	488	NONBTO	858365642100	53
FS	486	NONBTO	858363603100	32	P	30/06/10	FS	488	BTO/NONBTO	858365742000	105
FS	486	NONBTO	858363703000	59	P	30/06/10	FS	488	NONBTO	859230338000	90
FS	486	NONBTO	859230620000	147	P	30/06/10	FS	488	NONBTO	859233910100	31
FS	486	NONBTO	859231703200	45	P	30/06/10	FS	488	NONBTO	859233343800	64
FS	486	NONBTO	859232003970	213	P	30/06/10	FS	488	NONBTO	859234110000	74
FS	465	NONBTO	859230343000	31							
FS	465	NONBTO	859230143000	30							
FS	465	NONBTO	859230143000	39							

Tabella 4.61: Confronto tra lo scheduling della simulazione rigida (sinistra) e della simulazione flessibile (destra) per la linea 23 nel giorno 1/7/2010

Dal confronto delle soluzioni di scheduling (tabelle 4.54, 4.55, 4.56, 4.57, 4.58, 4.59, 4.60, 4.61), si nota come ogni giorno, nel modello obiettivo del progetto (simulazione flessibile), la sequenza è formata sulla base delle domande della tipologia *BTO*, le cui attività di produzione possono essere eseguite solamente durante una finestra temporale della durata di un giorno. Il resto della sequenza è completato dalle domande della tipologia *NONBTO*, in modo da rendere minimi i cambi di configurazione e, se possibile, seguendo la sequenza circolare ottima.

Eseguendo una pianificazione che tenga conto della sincronizzazione con la produzione dei cestelli *FL*, ogni giorno viene automaticamente limitato il numero dei diversi modelli logistici⁹. In questo modo sulla linea di produzione dei cestelli *FL* saranno necessari meno cambi di configurazione, permettendo la produzione di lotti di dimensione maggiore.

Nella categoria *TL*, per la quale non è riportato un esempio di soluzione di scheduling, l'ottimizzazione della sequenza di produzione sulle linee di assemblaggio finale, ha anch'esso un beneficio diretto sulla produzione dei cestelli *TL*, perché riduce il numero dei cambi di configurazione.

Gestire i cambi di configurazione della linea di assemblaggio finale durante lo scheduling, consente di sgravare dai responsabili dello stabilimento il compito di creare la miglior sequenza di produzione da Excel, eliminando la dipendenza dall'esperienza.

La tabella 4.62 riassume, per la linea 23 e 24, il numero dei cambi di configurazione più importanti (famiglia e modello logistico) relativo al confronto tra le soluzioni di scheduling utilizzate come esempio.

Nella tabella 4.62, il campo *NUM. CAMBI FAMIGLIA SAP APO* rappresenta il numero dei cambi di configurazione di famiglia eseguiti nella simulazione rigida; il campo *NUM. CAMBI MOD. LOG. SAP APO* è identico al precedente, ma stavolta rappresenta il numero di cambi di configurazione di modelli logistici; la colonna *NUM. CAMBI FAMIGLIA PPO* rappresenta il numero dei cambi di configurazione di famiglia eseguiti nella simulazione flessibile; il campo *NUM. CAMBI MOD. LOG. PPO* rappresenta il numero dei cambi di configurazione di modelli logistici eseguiti con la simulazione

⁹Ad ogni modello logistico corrisponde un diverso cestello.

flessibile.

DATA	LINEA	NUM. CAMBI FAMILIA SAP APO	NUM. CAMBI MOD. LOG. SAP APO	NUM. CAMBI FAMILIA PPO	NUM. CAMBI MOD. LOG. PPO
28/6/2010	24	1	2	1	2
28/6/2010	23	0	2	0	3
29/6/2010	24	1	4	0	1
29/6/2010	23	0	3	0	2
30/6/2010	24	1	4	0	1
30/6/2010	23	0	3	0	3
1/7/2010	24	1	2	1	1
1/7/2010	23	0	4	0	3
TOT	24	4	12	2	5
TOT	23	0	12	0	11

Tabella 4.62: Confronto del numero dei cambi di configurazione

Nelle tabelle 4.63 e 4.64, i valori illustrati si riferiscono alle simulazioni di scheduling svolte su tutti gli insiemi di dati.

La colonna *AGGREGAZIONE* identifica il livello di unione delle produzioni, ad esempio il valore *BI* per questo campo fa riferimento all'unione di tutti i prodotti finiti che appartengono a questa famiglia.

Il campo *LOTTO MEDIO SAP APO* rappresenta per ogni livello di aggregazione la dimensione media del lotto risultante dalla simulazione rigida, la dimensione media del lotto è ottenuta sommando tutte le quantità delle produzioni che appartengono ad una stessa aggregazione, diviso il numero di volte che è necessario cambiare configurazione per eseguire una produzione che appartiene all'aggregazione. La colonna *LOTTO MEDIO PPO* è identica alla precedente, ma è calcolata sulla simulazione flessibile.

INSIEME DI DATI	AGGREGAZIONE	LOTTO MEDIO SAP APO	LOTTO MEDIO PPO
insieme1	BI	500,50	1001,00
insieme1	FS	257,33	386,00
insieme1	465	202,50	202,50
insieme1	480	485,33	485,33
insieme1	481	772,25	772,25
insieme1	483	157,50	157,50
insieme1	484	79,33	238,00
insieme1	485	224,00	448,00
insieme1	486	334,00	668,00
insieme1	488	595,80	993,00
insieme2	BI	383,67	575,50
insieme2	FS	357,33	536,00
insieme2	465	170,00	255,00
insieme2	480	420,75	561,00
insieme2	481	549,40	686,75
insieme2	483	134,67	202,00
insieme2	484	151,00	151,00
insieme2	485	249,00	498,00
insieme2	486	644,33	966,50
insieme2	488	468,40	468,40
insieme3	BI	474,67	712,00
insieme3	FS	315,00	420,00
insieme3	465	168,25	331,00
insieme3	480	359,25	359,25
insieme3	481	463,40	772,33
insieme3	483	174,33	261,50
insieme3	484	53,50	53,50
insieme3	485	249,00	498,00
insieme3	486	558,75	1117,50
insieme3	488	619,50	826,00

Tabella 4.63: Confronto dei lotti aggregati FL

INSIEME DI DATI	AGGREGAZIONE	LOTTO MEDIO SAP APO	LOTTO MEDIO PPO
insieme1	LR	1086,50	2173,00
insieme1	HR	3022,00	3022,00
insieme1	402/405	339,00	452,00
insieme1	407/408	718,67	718,67
insieme1	416/417	301,80	754,50
insieme1	431/432	861,50	861,50
insieme1	433/434	418,75	558,33
insieme1	435/437	593,00	593,00
insieme1	449/441/442	510,33	765,50
insieme1	400	411,25	548,33
insieme1	412	592,80	1482,00
insieme2	LR	917,33	1376,00
insieme2	HR	2481,33	3722,00
insieme2	402/405	315,00	420,00
insieme2	407/408	658,00	822,50
insieme2	416/417	301,80	603,60
insieme2	431/432	861,50	1148,67
insieme2	433/434	418,75	418,75
insieme2	435/437	593,00	790,67
insieme2	449/441/442	510,33	637,92
insieme2	400	411,25	616,88
insieme2	412	592,80	889,20
insieme3	LR	917,33	1376,00
insieme3	HR	3181,00	4771,50
insieme3	402/405	339,00	678,00
insieme3	407/408	718,67	718,67
insieme3	416/417	301,80	377,25
insieme3	431/432	861,50	1292,25
insieme3	433/434	418,75	418,75
insieme3	435/437	593,00	875,09
insieme3	449/441/442	510,33	637,92
insieme3	400	411,25	514,06
insieme3	412	592,80	889,20

Tabella 4.64: Confronto dei lotti aggregati TL

Capitolo 5

Conclusioni

Tutto il lavoro svolto fa parte di un progetto di *proof of concept*, il cui obiettivo primario è la dimostrazione della fattibilità. Poiché il modello realizzato in *PPO* rappresenta in toto gli obiettivi e i vincoli dichiarati, di cui ci sono state fornite delle informazioni reali, il cliente ha espresso la sua soddisfazione per gli obiettivi raggiunti.

Sicuramente i risultati ottenuti dalle simulazioni sullo stabilimento campione di Poprad non rivelano dei vantaggi esaltanti relativi alla soddisfazione della domanda. Il motivo principale è da ricercare nella scarsità di vincoli complessi che caratterizza questo stabilimento, che ne limita il possibile valore aggiunto. I miglioramenti riguardanti la soddisfazione della domanda sono infatti contenuti (circa 3% giornaliero), e sono imputabili al buon funzionamento dello stabilimento utilizzato come campione, considerando che in molti giorni delle simulazioni le risorse sono pressoché sature.

Ciò nonostante, il piano di produzione creato tramite SAP APO molto spesso non è fattibile. Si tratta per lo più di bassi quantitativi (in media tra il 3% e il 4% giornaliero), ma che in più di una circostanza si aggirano su valori intorno al 6%, con picchi sporadici fin sopra all'8%. Le simulazioni dimostrano che il modello in *PPO* elimina i piani non fattibili generati da *SAP APO*, i quali rappresentano la principale limitazione per il passaggio ad una logica mista *push-pull*. Sui 21 giorni lavorativi presi in esame, la percentuale dei piani giornalieri non fattibili si è azzerata, migliorando di oltre il 70% per la

categoria *FL* e di circa il 50% per la categoria *TL*. In aggiunta, dai risultati si evince che, concedendo una limitata flessibilità per la tipologia di domanda meno importante, è possibile mantenere per molti casi la produttività giornaliera intorno al 100%. I risultati ottenuti convergono con i dati dichiarati dall'SCM di Whirlpool, che indicano come lo stabilimento di Poprad sia rispettoso del piano con una percentuale media del 94%. Ad ogni modo, siamo certi che l'SCM di Whirlpool abbia compreso le potenzialità dello strumento e dei vantaggi che potrebbe portare nella loro industria del freddo, dove la presenza di numerosi vincoli non permette di rispettare i piani di produzione con valori medi maggiori del 70%.

Durante la presentazione finale al cliente abbiamo mostrato come il modello può essere utile anche in scenari diversi dal normale contesto. Ad esempio è possibile utilizzare la pianificazione, con un orizzonte superiore alle quattro settimane, per delle indicazioni sulle quantità di componenti (quelli rappresentati con quantità infinite) che saranno necessarie in futuro.

Oppure abbiamo proposto un caso di un improvviso problema di approvvigionamento di un componente, ottenuto attraverso la modifica della quantità disponibile del componente stesso in modo interattivo su *PPO*. In un caso del genere, una veloce ripianificazione (a breve termine) e un veloce scheduling delle attività (con un orizzonte più limitato), possono evitare possibili caos e dipendenze dalla persona che normalmente si occupa dello scheduling delle attività in stabilimento.

Prendendo spunto da quest'ultima situazione, un possibile miglioramento che affinerrebbe l'approssimazione della realtà, sarebbe l'aggiunta delle ricette che simulano l'approvvigionamento di quei componenti critici che abbiamo trattato mediante delle quantità infinite. Queste ricette dovrebbero rappresentare: i tempi di consegna, le quantità minime da ordinare, le quantità massime da ordinare e i relativi costi fissi e variabili. In questo modo *PPO* potrebbe fornire un adeguato supporto alle decisioni riguardo al ripristino delle scorte.

Un altro possibile miglioramento potrebbe riguardare la trasformazione dei costi di configurazione tra famiglia, modello logistico e brand, sulle linee di assemblaggio finale, in tempi di configurazione.

Elenco delle figure

1	Il flusso dei materiali	4
2.1	Le fasi del processo produttivo	20
2.2	I vincoli del processo produttivo	23
3.1	Le tabelle generali di <i>PPO</i>	37
3.2	Le tabelle utilizzate per gestire le risorse	40
3.3	Le tabelle utilizzate per gestire i calendari	41
3.4	Le tabelle utilizzate per gestire i materiali e le unità di stoccaggio	45
3.5	Le tabelle utilizzate per gestire le ricette, le attività e le loro modalità	48
3.6	Le tabelle utilizzate per gestire i tempi e i costi di configurazione	52
3.7	Le tabella utilizzata per gestire la domanda	54
3.8	Le tabella utilizzata per gestire le giacenze iniziali	56
3.9	Le tabella utilizzate per salvare la soluzione del problema di pianificazione	58
3.10	Le tabella utilizzate per salvare gli ordini di produzione	60
3.11	Le tabella utilizzate per salvare il flusso dei materiali	66
3.12	Le tabella utilizzate per salvare il flusso dei materiali	68
4.1	La flessibilità della domanda nel periodo congelato	80
4.2	La flessibilità della domanda fuori dal periodo congelato	81
4.3	Esempio di scheduling con diverse matrici di costo	94
4.4	Pianificazione simulazione rigida <i>FL</i> nel giorno 28/6/2010 . . .	102

4.5	Pianificazione simulazione flessibile <i>FL</i> nel giorno 28/6/2010 .	102
4.6	Pianificazione simulazione rigida <i>TL</i> nel giorno 28/6/2010 . .	103
4.7	Pianificazione simulazione flessibile <i>TL</i> nel giorno 28/6/2010 .	103
4.8	Pianificazione simulazione rigida <i>FL</i> nel giorno 29/6/2010 . . .	104
4.9	Pianificazione simulazione flessibile <i>FL</i> nel giorno 29/6/2010 .	104
4.10	Pianificazione simulazione rigida <i>TL</i> nel giorno 29/6/2010 . .	105
4.11	Pianificazione simulazione flessibile <i>TL</i> nel giorno 29/6/2010 .	105
4.12	Pianificazione simulazione rigida <i>FL</i> nel giorno 30/6/2010 . . .	106
4.13	Pianificazione simulazione flessibile <i>FL</i> nel giorno 30/6/2010 .	106
4.14	Pianificazione simulazione rigida <i>TL</i> nel giorno 30/6/2010 . .	107
4.15	Pianificazione simulazione flessibile <i>TL</i> nel giorno 30/6/2010 .	107
4.16	Gantt dello scheduling di <i>PPO</i>	110

Elenco delle tabelle

2.1	Tipi di domanda e relativa priorità	27
3.1	La tabella <i>PPO_BUCKET_SEQUENCE</i>	37
3.2	La tabella <i>PPO_BUCKET</i>	37
3.3	La tabella <i>PPO_OPTIMIZATION_PROFILE</i>	38
3.4	La tabella <i>PPO_MODEL</i>	38
3.5	La tabella <i>PPO_PLANNING_CRITERION_WEIGHT</i>	38
3.6	La tabella <i>PPO_SCHEDULING_CRITERION_WEIGHT</i>	39
3.7	La tabella <i>PPO_RESOURCE</i>	40
3.8	La tabella <i>PPO_RESOURCE_CONNECTION</i>	41
3.9	La tabella <i>PPO_CALENDAR</i>	42
3.10	La tabella <i>PPO_DAY_SEQUENCE_REPETITION</i>	42
3.11	La tabella <i>PPO_DAY_SEQUENCE_TEMPLATE</i>	42
3.12	La tabella <i>PPO_SHIFT_TEMPLATE</i>	42
3.13	La tabella <i>PPO_BREAK_TEMPLATE</i>	43
3.14	La tabella <i>PPO_DOWNTIME_EXCEPTION</i>	43
3.15	La tabella <i>PPO_EFFICIENCY_EXCEPTION</i>	43
3.16	La tabella <i>PPO_OVERTIME_EXCEPTION</i>	43
3.17	La tabella <i>PPO_MATERIAL</i>	45
3.18	La tabella <i>PPO_MATERIAL_FAMILY</i>	46
3.19	La tabella <i>PPO_MATERIAL_FAMILY_MATERIAL</i>	46
3.20	La tabella <i>PPO_UNIT</i>	46

3.21	La tabella <i>PPO_STORAGE_UNIT</i>	46
3.22	La tabella <i>PPO_STORAGE_UNIT_MATERIAL</i>	46
3.23	La tabella <i>PPO_RECIPES</i>	49
3.24	La tabella <i>PPO_ACTIVITY_PROTO</i>	49
3.25	La tabella <i>PPO_ACTIVITY_SETUP_STATE_PROTO</i>	49
3.26	La tabella <i>PPO_PROD_PROD_PRECED_PROTO</i>	50
3.27	La tabella <i>PPO_PROD_PROD_COMPAT_PROTO</i>	50
3.28	La tabella <i>PPO_MODE_PROTO</i>	50
3.29	La tabella <i>PPO_MATERIAL_PRODUCTION_PROTO</i>	51
3.30	La tabella <i>PPO_SECONDARY_RESOURCE_PROTO</i>	51
3.31	La tabella <i>PPO_RESOURCE_SETUP_STATE</i>	52
3.32	La tabella <i>PPO_SETUP_MATRIX</i>	52
3.33	La tabella <i>PPO_RESOURCE_SETUP_MODEL</i>	53
3.34	La tabella <i>PPO_DEMAND</i>	54
3.35	La tabella <i>PPO_DUE_DATE</i>	55
3.36	La tabella <i>PPO_PROCUREMENT</i>	56
3.37	La tabella <i>PPO_PLANNED_PRODUCTION</i>	58
3.38	La tabella <i>PPO_PLANNED_PRODUCTION_MODE</i>	59
3.39	La tabella <i>PPO_PLANNED_DELIVERY</i>	59
3.40	La tabella <i>PPO_PRODUCTION_ORDER_PLANNED_MODE</i>	61
3.41	La tabella <i>PPO_PRODUCTION_ORDER</i>	61
3.42	La tabella <i>PPO_PRODUCTION_ORDER_ACTIVITY</i>	62
3.43	La tabella <i>PPO_ACTIVITY</i>	62
3.44	La tabella <i>PPO_PROD_PROD_COMPAT</i>	62
3.45	La tabella <i>PPO_PROD_PROD_PRECED</i>	62
3.46	La tabella <i>PPO_MODE</i>	63
3.47	La tabella <i>PPO_MATERIAL_PRODUCTION</i>	64
3.48	La tabella <i>PPO_PROD_SECONDARY_RESOURCE</i>	64
3.49	La tabella <i>PPO_SETUP_ACTIVITY</i>	64
3.50	La tabella <i>PPO_SETUP_MODE</i>	65
3.51	La tabella <i>PPO_PROCUREMENT_TO_PROD_ARC</i>	67
3.52	La tabella <i>PPO_PROD_TO_PROD_ARC</i>	67
3.53	La tabella <i>PPO_PROD_TO_DEMAND_ARC</i>	67

3.54	La tabella <i>PPO_SCHEDULED_ACTIVITY</i>	69
3.55	La tabella <i>PPO_SCHEDULED_SETUP_ACTIVITY</i>	69
4.1	Il piano SAP APO	71
4.2	La capacità giornaliera delle risorse	72
4.3	I takt time delle risorse	74
4.4	La situazione iniziale delle scorte dei componenti critici	76
4.5	I lotti minimi delle risorse	77
4.6	Le sequenza ottime dei modello logistici	78
4.7	La matrice delle transizioni della linea DRUM_FL	78
4.8	Tipi di domanda e relativa priorità	79
4.9	La tabella <i>ES_PPO_MODEL</i>	81
4.10	La tabella <i>ES_PPO_OPTIMIZATION_PROFILE_P_1</i>	82
4.11	La tabella <i>ES_PPO_OPTIMIZATION_PROFILE_P_2</i>	82
4.12	La tabella <i>ES_PPO_PLANNING_CRITERION_WEIGHT</i>	82
4.13	La tabella <i>ES_PPO_SCHEDULING_CRITERION_WEIGHT</i>	83
4.14	La tabella <i>ES_PPO_BUCKET_SEQUENCE</i>	83
4.15	La tabella <i>ES_PPO_BUCKET</i>	83
4.16	La tabella <i>ES_PPO_RESOURCE_P_1</i>	84
4.17	La tabella <i>ES_PPO_RESOURCE_P_2</i>	84
4.18	La tabella <i>ES_PPO_RESOURCE_CONNECTION</i>	84
4.19	La tabella <i>ES_PPO_CELENDAR</i>	85
4.20	La tabella <i>ES_PPO_DAY_SEQUENCE_REPETITION</i>	85
4.21	La tabella <i>ES_PPO_DAY_SEQUENCE_TEMPLATE</i>	85
4.22	La tabella <i>ES_PPO_SHIFT_TEMPLATE</i>	86
4.23	La tabella <i>ES_PPO_BREAK_TEMPLATE</i>	86
4.24	La tabella <i>ES_PPO_DOWNTIME_EXCEPTION</i>	86
4.25	La tabella <i>ES_PPO EFFICIENCY_EXCEPTION</i>	86
4.26	La tabella <i>ES_PPO_OVERTIME_EXCEPTION</i>	86
4.27	La tabella <i>ES_PPO_MATERIAL</i>	87
4.28	La tabella <i>ES_PPO_UNIT</i>	87
4.29	La tabella <i>ES_PPO_MATERIAL_FAMILY</i>	87
4.30	La tabella <i>ES_PPO_MATERIAL_FAMILY_MATERIAL</i>	87

4.31	La tabella <i>ES_PPO_STORAGE_UNIT</i>	87
4.32	La tabella <i>ES_PPO_STORAGE_UNIT_MATERIAL</i>	88
4.33	La tabella <i>ES_PPO_RECIPES_P_1</i>	89
4.34	La tabella <i>ES_PPO_RECIPES_P_2</i>	89
4.35	La tabella <i>ES_PPO_ACTIVITY_PROTO</i>	89
4.36	La tabella <i>ES_PPO_ACTIVITY_SETUP_STATE_PROTO</i>	89
4.37	La tabella <i>ES_PPO_PROD_PROD_PRECED_PROTO</i>	89
4.38	La tabella <i>ES_PPO_PROD_PROD_COMPAT_PROTO</i>	90
4.39	La tabella <i>ES_PPO_MODE_PROTO_P_1</i>	90
4.40	La tabella <i>ES_PPO_MODE_PROTO_P_2</i>	90
4.41	La tabella <i>ES_PPO_MATERIAL_PRODUCTION_PROTO_P_1</i>	90
4.42	La tabella <i>ES_PPO_MATERIAL_PRODUCTION_PROTO_P_2</i>	90
4.43	La tabella <i>ES_PPO_SECONDARY_RESOURCE_PROTO</i>	90
4.44	La matrice delle transizioni <i>FL</i>	97
4.45	La matrice delle transizioni <i>TL</i>	97
4.46	La tabella <i>ES_PPO_RESOURCE_SETUP_STATE</i>	97
4.47	La tabella <i>ES_PPO_SETUP_MATRIX</i>	98
4.48	Costi di non soddisfazione della domanda	98
4.49	La tabella <i>ES_PPO_DEMAND_P_1</i>	99
4.50	La tabella <i>ES_PPO_DEMAND_P_2</i>	99
4.51	La tabella <i>ES_PPO_DUE_DATE</i>	99
4.52	La tabella <i>ES_PPO_PROCUREMENT</i>	100
4.53	Consuntivo dei risultati ottenuti	109
4.54	Confronto tra lo scheduling della simulazione rigida (sinistra) e della simulazione flessibile (destra) per la linea 24 nel giorno 28/6/2010	111
4.55	Confronto tra lo scheduling della simulazione rigida (sinistra) e della simulazione flessibile (destra) per la linea 23 nel giorno 28/6/2010	111
4.56	Confronto tra lo scheduling della simulazione rigida (sinistra) e della simulazione flessibile (destra) per la linea 24 nel giorno 29/6/2010	112

4.57	Confronto tra lo scheduling della simulazione rigida (sinistra) e della simulazione flessibile (destra) per la linea 23 nel giorno 29/6/2010	112
4.58	Confronto tra lo scheduling della simulazione rigida (sinistra) e della simulazione flessibile (destra) per la linea 24 nel giorno 30/6/2010	113
4.59	Confronto tra lo scheduling della simulazione rigida (sinistra) e della simulazione flessibile (destra) per la linea 23 nel giorno 30/6/2010	113
4.60	Confronto tra lo scheduling della simulazione rigida (sinistra) e della simulazione flessibile (destra) per la linea 24 nel giorno 1/7/2010	114
4.61	Confronto tra lo scheduling della simulazione rigida (sinistra) e della simulazione flessibile (destra) per la linea 23 nel giorno 1/7/2010	114
4.62	Confronto del numero dei cambi di configurazione	116
4.63	Confronto dei lotti aggregati FL	117
4.64	Confronto dei lotti aggregati TL	117

Bibliografia

- [1] Hau L. Lee - John J. Neale - Terry P. Harrison, **The Practice of Supply Chain Management: Where Theory and Application Converge**, Springer, 2005
- [2] Pinedo Michael L., **Planning And Scheduling In Manufacturing And Services**, Springer, 2009
- [3] James P. Womack - Daniel T. Jones - Daniel Roos, **The Machine That Changed the World**, Simon & Schuster Ltd, 2007
- [4] Sjored - J. Hoekstra - Jac M. Romme, **Integral Logistics Structures: Developing Customer Oriented Goods Flows**, McGraw-Hill, 1992
- [5] **IBM Corporation**, <http://www.ibm.com>
- [6] **Whirlpool Corporation**, <http://www.whirlpool.com>
- [7] **SAP s.p.a**, <http://www.sap.com>
- [8] IBM Corporation, **IBM ILOG Plant PowerOps V3.3 Data Schema**
- [9] IBM Corporation, **IBM ILOG Plant PowerOps V3.3 Documentation**

Ringraziamenti

Al termine di questo mio percorso vorrei ringraziare tutti coloro che hanno reso possibile la realizzazione di questo progetto:

- Il correlatore, Fabrizio Rota, per il lavoro nel *team* e i chiarimenti durante lo svolgimento del progetto.
- Il relatore, Prof. Giovanni Righini, per la disponibilità e i consigli che mi ha fornito.
- IBM Italia per avermi dato l'opportunità di affrontare questa attività.

Inoltre vorrei ringraziare particolarmente anche quelle persone che mi hanno accompagnato durante questi anni di studio:

- Un ringraziamento alla mia famiglia per il prezioso sostegno morale ed economico.
- Un ringraziamento a Debora per la pazienza.
- Un ringraziamento a Luno per la compagnia durante la scrittura della tesi.
- Un ringraziamento ai fedeli compagni di università con cui ho passato più di tre anni di studio.
- Un ringraziamento anche a tutta la mia compagnia composta dalla *curva Pontevico* e dalla *curva Robecco* che oggi sono qui a sostenermi.