



UNIVERSITÀ DI PISA

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'ENERGIA DEI SISTEMI
DEL TERRITORIO E DELLE COSTRUZIONI**

**RELAZIONE PER IL CONSEGUIMENTO DELLA
LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA GESTIONALE**

***ANALISI E MIGLIORAMENTO DEL PIANO PRINCIPALE DI
PRODUZIONE IN UNA PRIMARIA AZIENDA
ALIMENTARE***

SINTESI

RELATORI

Prof. Ing. Gionata Carmignani
*Dipartimento di Ingegneria dell'Energia
dei Sistemi e del Territorio e delle Costruzioni*

Ing. Manuela Cornacchia
Demand e Supply Planner

IL CANDIDATO

Damiano Andrea Esposito
d.esposito@studenti.unipi.it

Sessione di Laurea Magistrale del 24/11/2021

ANALISI E MIGLIORAMENTO DEL PIANO PRINCIPALE DI PRODUZIONE IN UNA PRIMARIA AZIENDA ALIMENTARE

Damiano Andrea Esposto

Sommario

Questo lavoro di tesi è stato svolto all'interno della funzione Demand e Supply Planning presso un'azienda alimentare Leader in Italia nel mercato Chips. L'obiettivo principe è quello di analizzare e migliorare il Piano Principale di Produzione ottenuto mediante le funzionalità di Pianificazione generale integrate in Microsoft Dynamics AX. È stata analizzata l'azienda e il suo modello distributivo al fine di individuare i fattori che influenzano l'output e definire le azioni necessarie al miglioramento. Successivamente sono stati calcolati i nuovi parametri della scorta di sicurezza e definite le nuove modalità di calcolo da introdurre nel software al fine di migliorare il processo di approvvigionamento dei prodotti finiti. Infine, vengono descritti i risultati ottenuti che dimostrano una riduzione della sovrapproduzione misurata con la valorizzazione dei prodotti scaduti. Le analisi effettuate e risultati ottenuti sono stati utilizzati per l'introduzione di un nuovo software per la pianificazione, schedulazione e ottimizzazione della produzione.

Abstract

This thesis work has been developed within the Demand and Supply Planning Department of a food company leader in the Italian Chips market. The main goal has been to analyze and improve the Master Production Schedule. This has been achieved through the master planning function of Microsoft Dynamics AX. The company and its distribution model have been analyzed to identify the factors affecting the output and define which measures are necessary for the improvement. Consecutively new parameters have been calculated for the Safety Stock. New calculation methods to be included in the software have also been developed to improve the supply process of the final products.

In conclusion, the results obtained have been described showing a decrease in the overproduction assessed with the enhancement of expired products. The analysis and subsequent results have been used for the development and introduction of a new software for planning, scheduling and optimization of production.

1. Presentazione dell'azienda Alimentare

L'azienda alimentare è leader in Italia nel mercato delle Chips. Essa si occupa della produzione e della distribuzione di snacks come patatine, prodotti ottenuti per estrusione (e.g. palline al gusto formaggio) e infine Panificati secchi. Il network distributivo è formato da due Magazzini Centrali denominati MC e 157 depositi periferici. Il magazzino centrale MC1 è dedicato all'evasione del portafoglio ordini dei clienti mediante consegna dei prodotti presso i loro Ce.Di. Invece; dal magazzino MC2 vengono trasferiti i prodotti finiti ai depositi periferici che a loro volta raggiungono con furgoncini i punti vendita posizionando il prodotto direttamente a scaffale (tentata vendita).

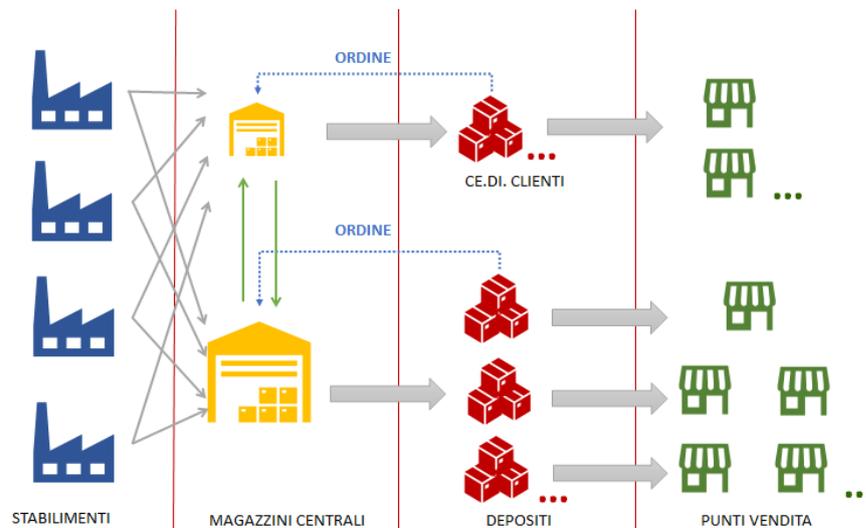


Figura 1

In figura 1 è rappresentato il flusso degli ordini con le frecce tratteggiate in blu e il flusso fisico con le frecce in grigio. Le frecce in verde indicano la possibilità di effettuare trasferimenti di merci tra i due MC. Per i clienti serviti presso Ce. Di. Il Delivery lead time è minore del Production Lead time invece per i depositi il tempo di consegna a cliente è considerato nullo per via della modalità di distribuzione.

L'azienda, dati i lead time stringenti, attua come modalità di risposta al mercato il Make To Stock e si avvale del modulo MPS del sistema ERP Microsoft Dynamics AX per la pianificazione del fabbisogno netto di prodotti finiti utilizzando una logica di tipo Push.

2. Il Diagramma SIPOC

In figura 2 è riportato il diagramma SIPOC ed indica chi sono i principali attori nel processo di definizione del fabbisogno netto di prodotto finito per gli MC.

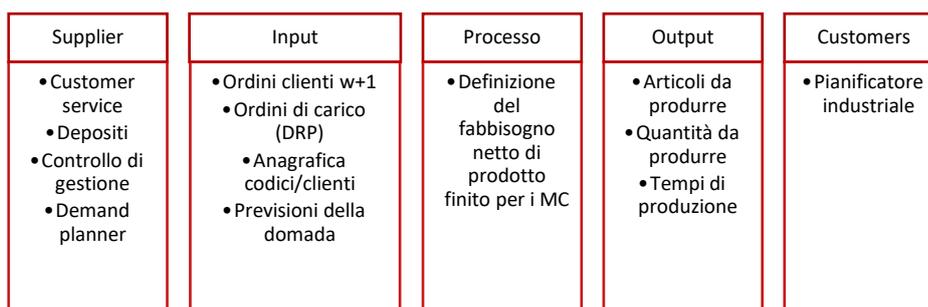


Figura 2

L'MPS "gira" con cadenza settimanale ed ha come output il piano di produzione della sola week successiva. Si evince una pianificazione di breve periodo. In questo modo la funzione Acquisti e gli Stabilimenti non possono avvalersi di una pianificazione su orizzonte di medio lungo periodo e quindi, svolgono le loro attività utilizzando solamente le previsioni e non il fabbisogno netto. Per questo mancanti come clienti nel diagramma SIPOC AS-IS.

3. I dati di partenza

In azienda il calcolo del fabbisogno netto viene effettuato ogni settimana facendo "girare" l'MPS. Un primo vincolo da evidenziare è di tipo tecnologico. Data la mole considerevole di dati da elaborare e dai tempi impiegati dal sistema, l'MPS calcola solamente le quantità da produrre della settimana successiva non considerando le settimane a seguire.

In figura 3 è riportata in formato tabella un'estrazione dell'output dell'MPS aziendale lanciato in week 28 per definire le quantità da produrre in week 29 presso i 4 stabilimenti dell'azienda. Nella figura 3 per unità secondaria di intende cartoni.

Somma di Quantità fabb. in unità secondaria	week			
Stabilimento	28	29	Totale complessivo	Capacità produttiva
Patatine 1	660.330	240.093	900.422	290.000
Snack	52.370	54.440	106.810	90.000
Patatine 2	119.848	59.766	179.614	60.000
Panificati	44.558	29.964	74.522	60.000
Totale complessivo	877.106	384.263	1.261.368	500.000

Figura 3

Come si può notare, il sistema posiziona le quantità da produrre già da week 28 (settimana in cui viene lanciato l'MPS). Questo accade perché:

- Il Customer Service inserisce il martedì gli ordini in consegna per la settimana successiva, ma il sistema ricalcola a ritroso la data di spedizione che ricade nell'80% dei casi nella settimana corrente, in questo modo pianifica al più presto la spedizione;

- Il sistema cerca di ripristinare le scorte di sicurezza. Da impostazione la scorta di sicurezza viene richiesta alla prima data che il sistema vede disponibile.

In figura 3 oltre all'output dell'MPS è riportata la capacità produttiva massima di ogni stabilimento e si può evincere come il totale complessivo sia praticamente il doppio della capacità produttiva. Nonostante dopo l'MPS venga fatta un'analisi di fattibilità non è detto che il piano di produzione definitivo sia guidato dalla domanda. Il Pianificatore Industriale potrebbe essere orientato alla minimizzazione dei costi di produzione di stabilimento producendo un mix di prodotti diverso dalle richieste del mercato.

Questa condizione ha come effetto la sovrapproduzione, misurata in azienda con la valorizzazione dei prodotti ormai scaduti, tema molto sentito. Un altro effetto forse meno diretto è la riduzione dei volumi di vendita dovuto alla mancanza del prodotto "giusto".

4. Ricerca delle cause

Al fine di individuare in modo dettagliato le cause che provocano un output fuori controllo, si è tenuta una riunione con i membri del team durante la quale sono stati elencati tutti i possibili fattori che possono influenzare i risultati. In figura 4 è riportato il diagramma di affinità con il quale sono state raggruppate le cause suddividendole in categorie.



Figura 4

Le categorie direttamente gestibili dal Team Demand e Supply planning sono: Settaggi di calcolo e Demand Forecasting. È stato scelto di analizzare per prima la categoria Settaggi di calcolo perché dal momento dell'introduzione dell'ERP in azienda non è mai stata analizzata o mantenuta.

Per i settaggi di calcolo, le azioni intraprese sono state:

- Ridefinizione delle scelte di copertura mediante nuovi parametri della scorta di sicurezza;
- Aggregazione scorte dei magazzini per la numerosità magazzini/depositi.

4.2 Ridefinizione dei parametri di scorta di sicurezza

Quando si parla di scorte di sicurezza, generalmente in letteratura viene sempre proposta indipendentemente dall'approccio una scorta espressa in quantità; cioè quante unità di un certo prodotto immagazzinare per poter far fronte alle diverse variabilità. In questa azienda alimentare, come in altre aziende, la scorta di sicurezza viene espressa in giorni di copertura. Per poter ridefinire i parametri di copertura sono stati raggruppati i prodotti secondo la categoria, il formato e la famiglia. Infatti, i codici appartenenti alle stesse categorie, formati e famiglia presentano la stessa curva di vendita, quindi, vengono associati a questi gli stessi parametri di copertura.

Prima di definire le scorte di sicurezza è stato analizzato l'intero sistema stabilimenti – magazzini centrali – depositi ed è stato classificato come **Sistema Indipendente**; cioè le scorte di sicurezza sono allocate in parte nei depositi e in parte nei magazzini centrali generando "indipendenza" dal sistema produttivo. Di seguito le formule utilizzate per il calcolo:

$$SS_{SI} = \sum_{i=1}^N SS_{DP_i} + SS_{DC};$$

$$SS_{DP_i} = k * \sqrt{LTR_{medio_i} * \sigma_{D_i}^2 + D_{media_i}^2 * \sigma_{LTR_i}^2};$$

$$SS_{DC} = k * \sqrt{LTA_{medio} * \sigma_{DG}^2 + DG_{media}^2 * \sigma_{LTA}^2};$$

$$DG_{media} = \sum_{i=1}^N D_{media_i};$$

$$\sigma_{DG}^2 = \sum_{i=1}^N \sigma_{D_i}^2. \text{ (Per domande non correlate)}$$

Con: N = numero di depositi periferici; DPi = i - esimo deposito periferico; DC = deposito centrale; LTA = lead time approvvigionamento; LTR = lead time riapprovvigionamento deposito i; Di = domanda vista dall'iesimo deposito; k = coefficiente di sicurezza; σ_{LTA} = variabilità del LTA del DC; σ_{LTR_i} = variabilità del LTRi dei DP; σ_{D_i} = variabilità della domanda vista dai singoli depositi.

Ipotesi generali:

- Domande non correlate;
- Le domande evase si suppongono distribuite secondo distribuzione standard con valore medio e deviazione standard;

- Il LTA e il LTR sono stati considerati pari ad una settimana con dev. St. di una settimana. Questi parametri non sono monitorati dall'azienda. Si è convenuto l'utilizzo della settimana dopo aver analizzato il processo di approvvigionamento da fabbrica e di spedizione verso i depositi.

Di seguito sono stati riportati i valori ottenuti per la Categoria Patatine 150 gr. Sapori

Magazzino Desposito	Venduto tot. [CRT]	DG medio [CRT]	[DEV ST (DG)]^2	LTA [week]	DEV ST (LTA)	k	LDS	S.S. [CRT]	Giorni di copertura
MC1	157.235	3.024	374.658	1	1	1,90	97%	5.862	9,69
MC2	521.465	10.028	154.794	1	1	1,64	95%	16.459	8,21
157 depositi	521.465	-	-	1	1	1,75	96%	18.638	10,29

Figura 5

I parametri di copertura sono stati ottenuti con la seguente formula:

$$\text{Giorni di copertura} = \frac{\text{Scorta di sicurezza [CRT]}}{\text{Media venduto [CRT]}} * \text{giorni di vendita nella settimana}$$

Per i depositi i giorni di copertura riportati sono da intendersi come la media dei giorni di copertura di tutti i depositi quindi ottenuta sommando per ogni deposito i giorni di copertura associati e dividendo tutto per N.

Dopo aver calcolato tutti i parametri di copertura mediante l'ausilio del software Service Optimizer 99+ questi sono stati raggruppati e sintetizzati in base alla classe ABC di appartenenza di ogni categoria. I risultati sono sintetizzati nella tabella seguente:

		Parametri di copertura espressi in giorni	
Magazzino	Classe	Prima	Dopo
Deposit	A	23	16
	B	23	20
	C	23	20
MC1	A	11	11
	B	11	11
	C	11	11
MC2	A	5	5
	B	5	5
	C	5	5

Figura 6

Per parametri di copertura si intende giorni di copertura desiderati.

I giorni di copertura rappresentano il tempo di autonomia del magazzino con quel determinato stock. Come si può notare in figura 6 i parametri di copertura sono stati

modificati solamente per i depositi; questo perché per i magazzini centrali i valori ottenuti sono superiori ai parametri iniziali. La scorta di sicurezza espressa in cartoni nel periodo di picco, per i due MC, supererebbe la capacità massima. Nei periodi di picco ovviamente i parametri restano fissi ma la scorta di sicurezza espressa in cartoni aumenta saturando i MC. Come cambiano le scorte del network dei depositi:

Classe prodotto	SS. Con Parametri Vecchi [CRT]	SS. Con Parametri Nuovi [CRT]	Delta
A	1.378.699	959.095	419.604
B	121.504	71.559	49.944
C	28.121	10.170	17.951
Totale	1.528.324	1.040.824	487.499

Figura 7

La scorta di sicurezza con parametri “vecchi” e parametri “nuovi” è stata calcolata con la stessa formula utilizzata dal sistema (Microsoft Dynamics AX):

$$SS = \frac{(\sum_{i=2}^6 Forecast_i)}{25} * gg \text{ di copertura desiderati}$$

- SS è la scorta di sicurezza espressa in cartoni;
- i sono le settimane di orizzonte temporale che vanno da $i = \text{week} + 2$ per poi considerare ulteriori 4 periodi successivi. Per un totale di 5 week di forecast;
- 25 sono i giorni lavorativi in 5 week;
- gg di copertura desiderati è la scorta di sicurezza espressa in giorni.

Il forecast in ingresso per il calcolo delle SS fa riferimento al momento di picco delle vendite. In seguito alla modifica dei parametri della scorta di sicurezza si evince un cambiamento nel DRP utilizzato per definire il fabbisogno netto dei depositi:

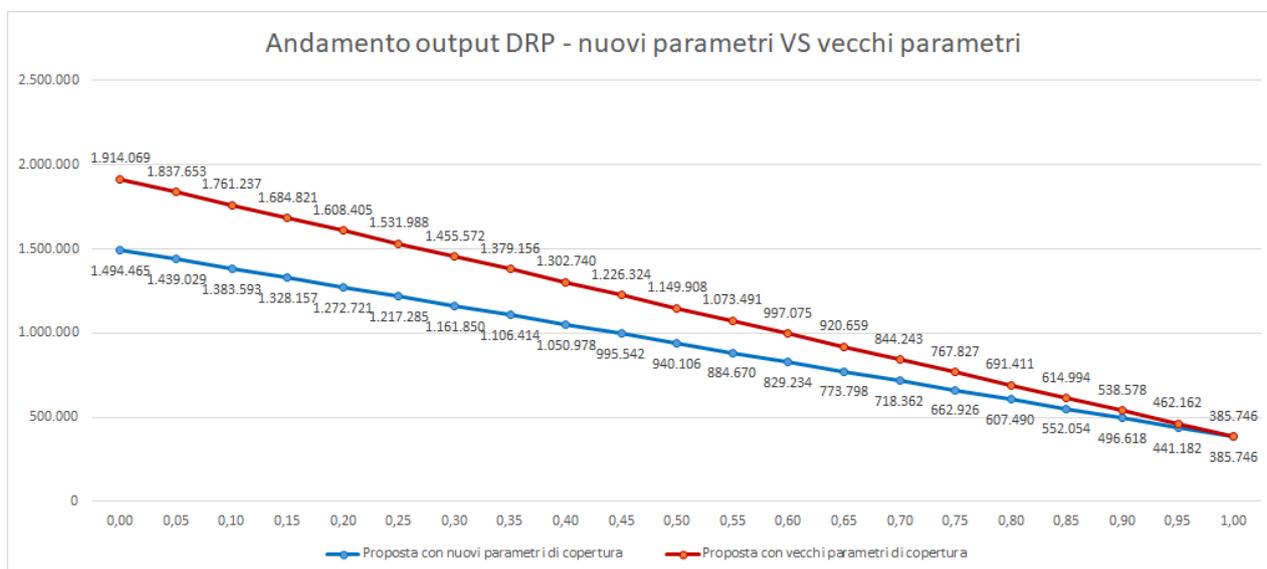


Figura 8

Nella figura 8 si può osservare come cambia il DRP totale (input dell'MPS) considerando i parametri di copertura. L'asse y rappresenta l'output del DRP espresso in cartoni. Sull'asse x è riportato il rapporto tra lo stock presente in tutti i centri e la scorta di sicurezza espressa in cartoni (calcolata nel picco di stagionalità). Per entrambe le curve quando il rapporto è uno, l'output sarà circa la scorta ciclo (ciò che ci aspettiamo di vendere) mentre man mano che ci spostiamo verso sinistra la forbice si allarga. Questo spiega perché in stagionalità per alcuni codici (alto vendenti) per cui la giacenza è inferiore alla scorta di sicurezza la proposta esplose superando di gran lunga la domanda effettiva.

Si è scelto di usare lo stock dei centri come variabile proxy perché sintetizza le variazioni di altre variabili come la domanda attesa o la mancata produzione.

4.3 Magazzino virtuale

La scelta del magazzino Virtuale è stata possibile in quanto la funzione Demand e Supply planning è responsabile dei bilanciamenti dello stock dei due Magazzini Centrali. Quindi attiva trasferimenti di merci fra i due MC che si trovano allo stesso livello del supply network per soddisfare le richieste dei clienti (TRANSSHIPMENT).

Dopo aver ridefinito i parametri di copertura, almeno per i depositi, il passo successivo è stato quello di far "girare" l'MPS considerando il magazzino virtuale. Data la rigidità del software si è deciso di calcolare l'MPS con EXCEL e non più con il modulo dedicato di AX perché richiedeva una customizzazione.

Calcolo applicato:

Stock presente al Lunedì della week 0 (Stock MC1 + Stock MC2)	+
Arrivi previsti da fabbrica nei due MC	-
PTF ordini clienti/depositi da evadere nella week 0	-
Scorta di sicurezza MC1 espressa in cartoni	-
Scorta di sicurezza MC2 espressa in cartoni	-
PTF ordini clienti/depositi da evadere nella week + 1	=
Proposta di produzione per week +1 (ordini pianificati)	

Figura 9

La proposta di produzione per week +1 può assumere valore > 0 , $=0$, <0 .

- Se ≥ 0 NON produrre;
- Se < 0 produrre ASS (Proposta di produzione per week + 1)

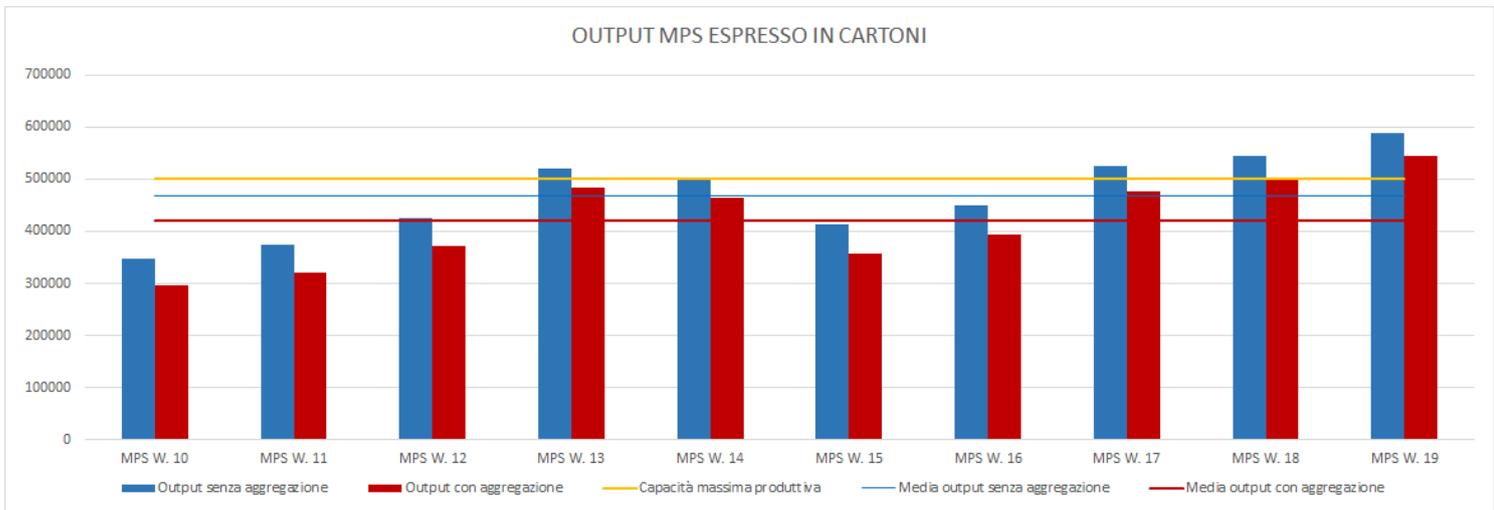


Figura 10

In figura 10 sono riportati a titolo di esempio gli ordini pianificati da week 10 a week 19. Le colonne blu indicano gli ordini pianificati senza aggregazione mentre le rosse indicano gli ordini pianificati con aggregazione dei magazzini.

L'output ottenuto con aggregazione dei dati è mediamente più basso del 10% rispetto all'output ottenuto senza aggregazione.

Considerazioni sui turni:

- **Capacità massima su 17 turni è di 500.000 cartoni (produrre anche di Sabato).** Da week 10 a week 19 la capacità massima viene rispettata mediamente da entrambi i metodi; quindi, utilizzando una strategia di livellamento della produzione e anticipando i picchi di week 13 e 14 (settimane di Pasqua) e week 17 non si presentano criticità.

	17 turni	15 turni
Capacità massima produttiva [CRT]	500.000	450.000
Media output senza aggregazione [CRT]	468.714	468.714
Vincolo rispettato?	SI	NO

- **Capacità massima su 15 turni e di circa 450.000 cartoni (non produrre il Sabato).** In questo caso si può notare che la richiesta media (468.714 cartoni) senza tecniche di aggregazione è superiore alla capacità massima mentre per la richiesta media (420.680 cartoni) con le tecniche di aggregazione la capacità è sempre rispettata.

	17 turni	15 turni
Capacità massima produttiva [CRT]	500.000	450.000
Media output con aggregazione [CRT]	420.680	420.680
Vincolo rispettato?	SI	SI

Si può quindi osservare che in corrispondenza di una proposta più bassa anche gli stabilimenti traggono dei vantaggi in termini di riduzione di turni quindi di costi. Il sabato potrebbe essere destinato alla manutenzione dei macchinari che oggi viene effettuata la domenica con extra costi. Il beneficio è anche per gli operatori che vedono una distribuzione del lavoro più equa per un periodo continuo (In questo caso 9 settimane).

5. Conclusioni

Subito dopo la fase di definizione e introduzione dei nuovi parametri e l'utilizzo dell' MPS aggregato sono stati monitorati:

- le quantità di prodotto scaduto associato alla sovrapproduzione;
- l'andamento del venduto confrontandolo con i dati del 2019 in quanto il 2020 è considerato un dato anomalo per via della situazione di contingenza dovuta al COVID-19;

Inoltre, i parametri e le logiche sono stati introdotti nel nuovo software per la pianificazione, schedulazione e ottimizzazione della produzione; MY PLAN 4.0.

5.1 Riduzione dei prodotti scaduti

In azienda il team Demand & Supply Planning è valutato secondo determinati KPI. Uno di questi è il volume, espresso in cartoni, di prodotto finito scaduto nell'arco dell'anno.

L'obiettivo principale delle azioni intraprese è quello di ottenere una quantità di prodotto finito scaduto inferiore al risultato ottenuto nel 2019.

	Prodotto Scaduto [CRT]	
	Actual 19	Fcst 21
Imputabili alla sovrapproduzione	20.500	13.200
Trend 2021 VS 2019		-35,61%

Figura 11

In figura 11 è riportato l'actual dei prodotti scaduti nel 2019 mentre per il 2021 è riportata la proiezione dello scaduto fino al 31/12/2021. Il trend indica una riduzione del 35% rispetto al

2019. Il risultato è valutato come ottimo in quanto si auspicava ad una riduzione del 20% dei volumi dello scaduto.

5.2 Andamento del venduto

In azienda un Bias molto forte è quello di associare, in casi normali, le perdite di fatturato alla mancanza di prodotto nel network, dovuta ad una pianificazione troppo bassa della produzione. Per questo il venduto è stato considerato come indicatore.

Anche se non direttamente imputabile all'output dell'MPS è stata monitorata la curva del venduto per assicurare che l'andamento sia compatibile con gli obiettivi fissati.

In Figura 11 è riportato l'andamento del venduto dal mese di maggio (riapertura dopo fase di lockdown) al mese di settembre. Si può notare come l'aver pianificato meno non abbia inciso in senso negativo sull'andamento. Il vantaggio ottenibile dal fatto che l'output dell'MPS sia "bilanciato" è quello di poter sfruttare i periodi in cui la capacità produttiva non viene saturata per creare pre – stock utile per affrontare i mesi di Giugno, Luglio e Agosto come è stato fatto nel 2021.

Ovviamente la creazione del pre – stock è vincolata anche alla shelf life del prodotto. Questo non può essere creato prima dei 50 gg rispetto al momento della vendita prevista.

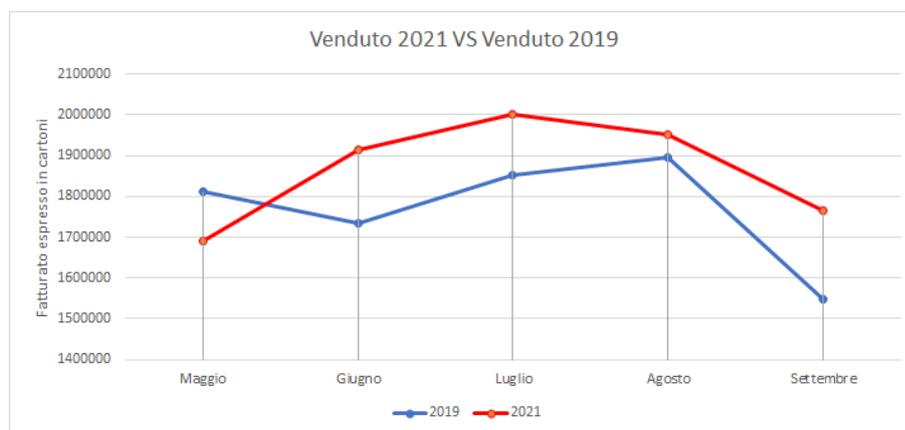


Figura 11

5.3 Introduzione del nuovo software

Infine, tutte le attività riportate sopra sono state utili per definire i parametri e i calcoli che il nuovo software per la pianificazione deve prendere in input oltre ai classici input previsti per il DRP e l'MPS.

Nella figura 12 è rappresentata una estrazione del'MPS introdotto in azienda.

RowDescription	PlanAggregation	Somma di 2021-09-19	Somma di 2021-09-26	Somma di 2021-10-03	Somma di 2021-10-10	Somma di 2021-10-17	Somma di 2021-10-24
Forecast	S_MCDF	0	0	543	95.450	100.565	103.026
CustomerOrders	S_MCDF	12.215	88.694	27.502	3.833	480	0
TransferPickingConfirmedOrders	S_MCDF	0	0	0	0	0	0
TransferPickingPlannedOrders	S_MCDF	2	130.195	1.234	111.538	163.846	199.196
TransferPickingReleasedOrders	S_MCDF	107.979	305.722	55.827	0	0	0
MRP Out	S_MCDF	-120.196	-524.611	-85.106	-210.821	-264.891	-302.222
TransferDepositReleasedOrders	S_MCDF	980	2.588	0	0	0	0
ConfirmedOrders	S_MCDF	0	0	0	0	0	0
ReleasedOrders	S_MCDF	731	328.304	2.127	0	979	0
PlannedOrders	S_MCDF	0	382.486	70.188	191.683	254.791	298.236
TransferDepositConfirmedOrders	S_MCDF	0	0	0	0	0	0
SafetyStock - [Progressive]	S_MCDF	440.608	440.608	440.608	440.608	440.608	440.608
OnHandProjectedWithoutPlannedOrders - [Progressive]	S_MCDF	394.176	330.652	248.907	149.624	49.558	-53.468

Figura 12

Un primo vantaggio è sicuramente la visualizzazione dei dati completamente diversa rispetto alla figura 1 che rappresenta l'MPS che utilizzava l'azienda. In questo caso la pianificazione non si limita a definire le quantità per la settimana successiva ma per un periodo più ampio permettendo una pianificazione più adeguata.

Con l'introduzione di questo nuovo strumento cambia anche il SIPOC dove vediamo l'aggiunta di due attori come customers:

- Gli stabilimenti che possono far girare l'MRP su un periodo di medio termine; attualmente tutte le analisi vengono fatte sul forecast e non sul fabbisogno netto.
- L'ufficio acquisti che pianifica anch'esso gli acquisti basandosi sul forecast e non sul fabbisogno netto.