

UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

Dipartimento di Ingegneria

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Gestionale



Tesi di Laurea Triennale

Analisi della situazione aziendale per una possibile implementazione della Lean

Manufacturing, il caso Somacis Spa

Analysis of the company situation for a possible implementation of Lean

Manufacturing, the Somacis Spa case

Relatore

Prof. Ing. Alessio Vita

Tesi di Laurea di:

Alessandro Paolini

Tutor aziendale

Emilio Sergi

Anno Accademico 2022/2023

INDICE

1. Introduzione.....	1
1.1 Contesto e obiettivo della tesi.....	1
1.2 Descrizione dell'azienda Somacis Spa.....	1
1.3. Storia del circuito stampato.....	2
1.4. Cos'è un circuito stampato.....	3
1.5. A cosa serve un circuito stampato.....	5
1.6. Caratteristiche del circuito stampato.....	5
2. Settore PCB.....	8
2.1 Posizionamento della Somacis spa nel mercato.....	8
2.2 Problematiche della produzione su commessa.....	9
3. Realizzazione di in circuito stampato.....	11
3.1 Ingegnerizzazione & CAD.....	11
3.2 Costruzione inner layer.....	12
3.2.1 Microincisione.....	12
3.2.2 Laminazione.....	13
3.2.3 Esposizione.....	14
3.2.4 Sviluppo.....	14
3.2.5 Incisione.....	15
3.2.6 Strippaggio.....	15
3.3 Reparto pressatura.....	16
3.4 Reparto rifilatura e riferimenti.....	18
3.5 Reparto foratura.....	19
3.6 Reparto metallizzazione.....	21
3.7 Reparto Dry-Film.....	23
3.8 Linea SES.....	23
3.9 Reparto Solder Mask.....	24
3.10 Reparto finiture.....	25
3.11 Reparto serigrafia.....	26
4. Difettosità e controlli sui PCB.....	26
4.1 Test visivo.....	27
4.2 Test elettrico.....	27
4.3 Test ottico.....	28

4.4 Microsezioni.....	28
4.5 Test d'impedenza.....	29
5. Il concetto di Lean Manufacturing.....	30
5.1 Strumenti e tecniche.....	31
5.2 QRM.....	31
6. Analisi situazione aziendale.....	33
6.1 SPAGHETTI CHART.....	33
6.2 OEE.....	34
6.3 Metodo di Hollier.....	37
6.4 MCT.....	39
7. Conclusioni.....	39
7.1 Problemi riscontrati.....	39
7.2 Soluzioni possibili.....	41

1. Introduzione

1.1 Contesto e obbiettivi della tesi

Questa tesi è basata sul mio tirocinio svolto presso l'azienda Somacis Spa, che è un'azienda con un sistema produttivo pull, quindi l'ingresso di un prodotto in produzione è successivo alla ricezione dell'ordine. Avendo un prodotto fortemente personalizzabile, l'azienda ha la necessità di minimizzare i lead-time e stabilizzare il carico di lavoro in modo da rispondere in maniera efficiente alle richieste del cliente. Lo studio si è basato sull'analisi delle prime fasi produttive di un circuito stampato in particolare dalla rifilatura alla metallizzazione. In questo studio sono stati analizzati degli ODL con l'obiettivo di individuare gli spostamenti e le tempistiche durante la varie fasi di fabbricazione.

1.2 Descrizione dell'azienda Somacis Spa

La Somacis è un'azienda italiana specializzata nella produzione di schede elettroniche a circuito stampato (PCB), con sede a Castelfidardo, nelle Marche. L'azienda fondata nel 1972 vanta un'esperienza di oltre 60 anni in questo settore, spinta sempre alla ricerca dell'innovazione e della qualità per offrire ai loro clienti il miglior prodotto sul mercato. Si è allargata facendo acquisizioni in primis in Cina, successivamente negli Stati Uniti e in Inghilterra in modo di poter rispondere al mercato in maniera tempestiva. E' in grado di fornire circuiti stampati rigidi, rigidi flessivi e totalmente flessibili.

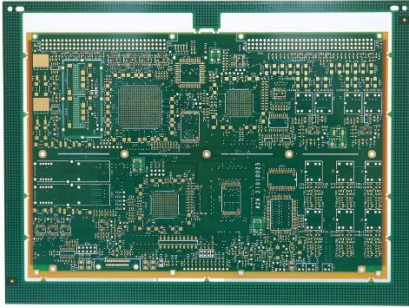


Fig.1.1

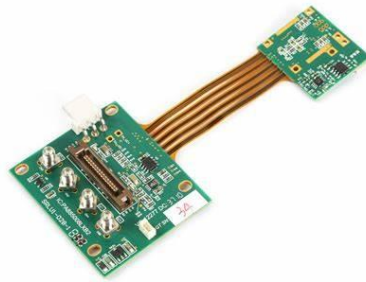


Fig.1.2

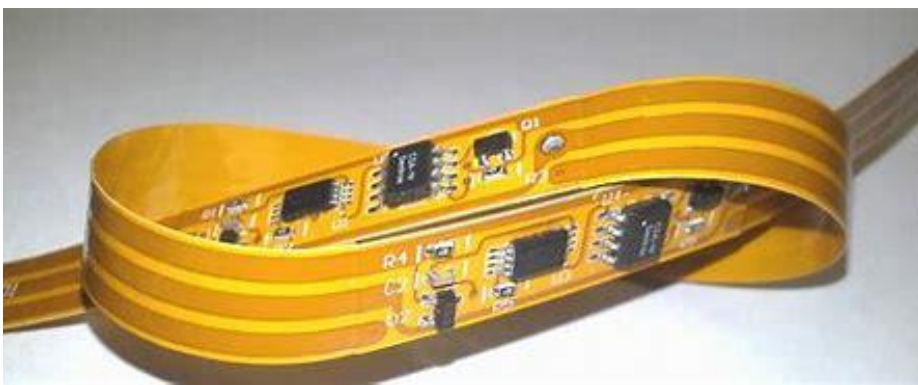


Fig.1.3

1.3 Storia del circuito stampato

Per velocizzare il montaggio delle apparecchiature elettroniche prodotte in serie, un ingegnere tedesco, Paul Eisler, intuisce che sarebbe meglio inserire i componenti su una base prestampata. Con un processo chimico-fotografico incide la base in modo da ricavare delle piste di rame: inventa così il circuito stampato. L'invenzione potrebbe costituire la svolta nell'evoluzione dei calcolatori, ma verrà presto sfruttata per la costruzione del circuito di esplosione comandata delle munizioni anti aeree.

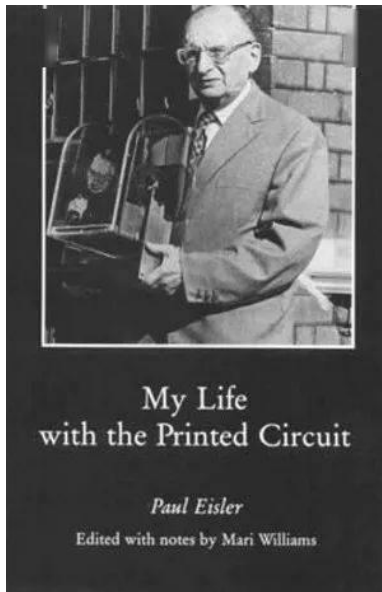


Fig.1.4



Fig.1.5

Potrebbe sembrare il primo passo di una nuova mirabile invenzione. In realtà non è del tutto chiara la genesi dei circuiti stampati. Correva l'anno 1903 quando Albert Parker Hanson, inglese, depositava il suo brevetto "Electrical Cables" presso l'ufficio brevetti. Hanson descriveva diversi metodi per formare i conduttori nel dielettrico. Il primo approccio riguardava il taglio e/o lo schiacciamento dei conduttori. Le piste in rame o ottone erano unite con l'adesivo a della carta con paraffina. La costruzione poteva essere sia su due lati (doppia faccia) che su più livelli (multistrato). Hanson ha presentato la domanda per un brevetto In Germania nel 1902 che non è stato pubblicato prima del 1905, mentre in Inghilterra il brevetto è divenuto di pubblico dominio nel 1903 ed accordato nel 1904.

1.4 Cos'è un circuito stampato

La definizione del "Manuale di Elettrotecnica ed Automazione – Ortolani e Venturi" non dice cos'è un circuito stampato, ma da cosa è costituito. "Un circuito stampato è costituito da un supporto isolante piano su cui sono incollati i conduttori che realizzano i collegamenti

elettrici fra i componenti elettronici richiesti dalla configurazione circuitale realizzata”. Il più semplice dei circuiti stampati è una basetta di materiale isolante con dei fori, piazzole e piste. La basetta è fatta generalmente di vetronite, un materiale isolante. Le piazzole ed i fori sono formati da un sottile strato metallico (conduttore elettrico).

Nei fori saranno inseriti i componenti elettronici (resistenze, condensatori, transistor...). Sulle piazzole verranno realizzate le saldature per unire elettricamente i terminali dei componenti con le piste. Quindi, le piste svolgono la funzione di conduttori, come dei normali fili elettrici. Per realizzare artigianalmente un circuito stampato, si parte da un foglio di vetronite completamente ramato, cioè sulla quale è depositato un sottile strato di rame, su tutta la sua superficie. Per creare le piste e le piazzole, è necessario asportare il rame in tutte le zone che devono appunto rimanere isolanti. Il metodo artigianale più utilizzato consiste nel tracciare le piste e le piazzole, direttamente sulla parte ramata della basetta, con una particolare vernice, ed in seguito immergere la basetta in una soluzione che corrode il rame. Il rame depositato sulla basetta viene asportato in tutte le zone rimaste scoperte, mentre nelle zone protette dalla vernice, il rame rimane integro. In seguito, dopo aver asportato la vernice sarà necessario effettuare la foratura al centro delle piazzole. Il circuito stampato è così pronto per il montaggio dei componenti.

Come ovvio pensare, questo tipo di circuito stampato e questa metodologia per di produzione sono ormai ad esclusivo appannaggio degli hobbisti. I circuiti prodotti dalla Somacis pcb industries hanno un livello di complessità decisamente maggiore di quello esposto. I diversi strati che costituiscono il circuito stampato sono generalmente in numero pari. Le dimensioni minime delle piste e degli isolamenti

partono da circa 25 μm . I fori possono essere realizzati con macchine foratrici laser con diametro fino a 50 μm .

1.5 A cosa serve un circuito stampato

Un circuito stampato mette in comunicazione i componenti in uno spazio predefinito o minimo (da cui la nascita dei multistrato), garantendo determinate caratteristiche elettriche tra i vari punti di connessione ai componenti. Oltre a questa utilità “passiva” del circuito stampato ci sono altre funzioni nelle quali il circuito stampato ha un ruolo attivo:

- Dissipare parte del calore induttivi attraverso l'utilizzo di materiali speciali.
- Garantire tra vari punti un'impedenza determinata (effetti capacitivi e trascurabili ad alte frequenze).

1.6 Caratteristiche principali del circuito stampato

Le caratteristiche di un circuito stampato sono molteplici e sono molto variabili in base alle richieste del cliente.

- Dimensioni planari, ma soprattutto lo spessore
- Numero di strati
- Spessore delle piste e degli isolamenti
- Numero, densità e diametro dei fori
- Presenza di fori ciechi, interrati, occlusi
- Dimensione dei pitch in caso di presenza di Ball Grid Array (BGA)
- Materiali utilizzati, soprattutto se materiali speciali
- Tipo di finiture
- Tipi di test

Tipologie di prodotti Gruppo Somacis e loro applicazioni

- Circuiti Hi-tech
- Circuiti con materiali speciali
- Circuiti multistrato
- Circuiti con doppia faccia PTH
- Circuiti doppia faccia STH
- Circuiti flessibili
- Circuiti rigido flessibili
- Backplane
- Circuiti consumer

Il tutto con tutti i tipi di finiture (HAL, doratura chimica, doratura elettrolitica, stagno chimico, argento chimico, finiture compatibili con il processo “wire bonding”).

Principali materie prime:

RAME	È il materiale che viene usato come conduttore per la realizzazione delle piste
PREPREG	Materiale costituito da un'anima di tessuto realizzato con fibra di vetro impregnato poi con della resina di vari spessori
FR4	Materiale costituito da due fogli di rame inframezzato da uno di prepreg;

	Il prepreg è già polimerizzato in quanto l'FR4 è già passato in forno; si presenta quindi come un materiale rigido;
FR5	È costituito come l'FR4 da due fogli di rame inframezzato da prepreg; l'unica differenza con l'FR4 è che resiste meglio alla temperatura (la temp max è più alta)
THERMOUNT	Materiale estremamente stabile e dallo spessore molto regolare, si usa per il forato laser
RCC	Materiale di sola resina senza tessuto e che quindi offre una resistenza uniforme alla foratura, permettendo fori molto puliti (specialmente quelli laser)
DUROIDS	
KAPTON	È un materiale usato per i circuiti flessibili
BERGQUIST	Lamina di Cu molto spessa, con del dielettrico e sopra un foglio di rame
THERMGON	Lamina di Al molto spessa, con del dielettrico e sopra un Cu foil
ROGERS	Materiale a base ceramica, il suo uso già rende il circuito High tech

2 Settore PCB

Il settore dei PCB è un'industria vitale per l'elettronica, la crescente adozione di tecnologie come l'Internet delle cose (IoT), l'intelligenza artificiale (AI), la robotica e la connettività 5G stanno spingendo la domanda di prodotti elettronici. Tutti questi prodotti richiedono schede elettroniche a circuito stampato per funzionare, il che contribuisce a stimolare la crescita del mercato dei PCB.

Il mercato globale dei PCB valeva circa 60 miliardi di dollari nel 2020 e si prevede che raggiunga i 84,7 miliardi di dollari entro il 2025, con un tasso di crescita annuo composto (CAGR) del 7,1% durante il periodo di previsione.

Il mercato dei PCB è suddiviso in diverse categorie, tra cui PCB rigidi, PCB flessibili e PCB rigidi-flessibili. Secondo lo stesso rapporto, i PCB rigidi rappresentano la maggioranza del mercato dei PCB, con una quota del mercato del 70% nel 2020.

Tuttavia, si prevede che la domanda di PCB flessibili e rigidi-flessibili crescerà a un tasso più elevato rispetto ai PCB rigidi, grazie alla loro maggiore flessibilità e miniaturizzazione.

Il rapporto identifica anche diverse regioni chiave per il mercato dei PCB, tra cui Asia-Pacifico, America del Nord ed Europa. L'Asia-Pacifico è la regione che ha la quota di mercato più elevata, rappresentando circa il 70% del mercato globale dei PCB nel 2020, grazie alla forte presenza di produttori di PCB in Cina e in altri paesi asiatici.

2.1 Posizionamento della Somacis Spa nel mercato

Nel contesto del mercato internazionale dei PCB, la Somacis si posiziona come un giocatore di rilievo. L'azienda è riconosciuta per la

sua esperienza nella produzione di PCB ad alta densità, complessità e precisione che richiedono una notevole competenza tecnica. La società lavora in stretta collaborazione con i clienti per sviluppare soluzioni personalizzate e innovative che soddisfano le loro specifiche esigenze. La Somacis ha una presenza globale con diverse unità produttive in Europa, Asia e Cina. Questa diffusione geografica consente all'azienda di servire una vasta base di clienti internazionali e di adattarsi alle esigenze del mercato globale dei PCB. Serve diversi settori industriali, tra cui l'elettronica di consumo, le telecomunicazioni, l'auto motive, l'aerospaziale, l'energia e la medicina. La sua ampia gamma di prodotti e servizi, insieme alla sua capacità di soddisfare le esigenze specifiche di ciascun settore, le conferisce una posizione competitiva nel mercato dei PCB. L'azienda ha ottenuto una buona reputazione per la qualità dei suoi prodotti e servizi. In quanto si impegna a seguire rigorosi standard di qualità e dispone di certificazioni rilevanti, come ISO 9001 e ISO 14001 che attestano il suo impegno per l'eccellenza operativa e l'attenzione all'aspetto ambientale. Inoltre si impegna anche nella ricerca e sviluppo per rimanere all'avanguardia delle ultime tecnologie e tendenze del settore dei PCB. Questo le consente di offrire soluzioni innovative e di mantenere una posizione di rilievo nel mercato internazionale.

2.2 Problematiche della produzione su commessa

La produzione su commessa presenta diverse problematiche e sfide che devono essere affrontate per garantire il successo dell'operazione. Una delle principali sfide riguarda la personalizzazione dei prodotti. Essendo richiesto di soddisfare le esigenze specifiche del cliente, è necessario stabilire una comunicazione stretta con il cliente per comprendere appieno i suoi requisiti e le specifiche del prodotto.

Tuttavia, bisogna bilanciare questa personalizzazione con l'efficienza produttiva e la gestione dei costi. La gestione delle scorte è un'altra problematica importante. A differenza della produzione di massa, in cui si possono prevedere le quantità necessarie, nella produzione su commessa è necessario gestire attentamente le scorte per evitare la sovrapproduzione o la mancanza di materie prime e componenti necessari per soddisfare gli ordini dei clienti. La pianificazione e la programmazione sono fattori cruciali nella produzione su commessa. È necessario pianificare attentamente l'allocazione delle risorse e programmare le attività per garantire che i tempi di consegna degli ordini siano rispettati. La coordinazione tra i vari dipartimenti, come produzione, approvvigionamento, logistica e controllo di qualità è fondamentale per evitare ritardi e problemi di consegna. La produzione su commessa può essere più complessa rispetto alla produzione di massa a causa della varietà dei prodotti e dei requisiti specifici dei clienti. Ciò richiede una particolare attenzione nella pianificazione delle risorse, nella gestione dei processi di produzione e nella qualità del prodotto finale. Un'altra sfida importante è il controllo dei costi. Poiché la produzione su commessa comporta una maggiore varietà di materiali, processi e attrezzature è necessario tenere sotto controllo i costi di produzione, compresi quelli delle materie prime, della manodopera, dei tempi di attrezzaggio e dei tempi di lavorazione, per garantire la redditività dell'operazione. Infine, nella produzione su commessa, la gestione delle relazioni con i clienti è fondamentale. Mantenere relazioni solide e di fiducia con i clienti richiede una comunicazione chiara e costante riguardo ai requisiti del prodotto, agli aggiornamenti sullo stato dell'ordine e ai tempi di consegna. La gestione delle aspettative dei clienti e la

risoluzione tempestiva di eventuali problemi sono fondamentali per mantenere la soddisfazione del cliente.

3. Realizzazione di un circuito stampato

Di seguito è riportata la una descrizione dei reparti e delle lavorazioni coinvolte nella realizzazione dei circuiti stampati (PCB) con la modalità Pattern Plating (che è quella maggiormente impiegata in azienda).

3.1 Reparto ingegnerizzazione & CAD

L'ingegnerizzazione è una fase preliminare alla produzione in cui si valuta la fattibilità e le modalità di realizzazione del circuito richiesto. Vengono valutati dettagliatamente le dimensioni degli isolamenti, piazzole, piste, fori e numero di strati.

Una volta ottenuto il nulla osta dal cliente si procede con:

- impaginazione
- lay-up
- modalità di lavorazione

il risultato di quest'analisi è costituito dalla scheda tecnica, la quale viene identificata con un codice univoco.

La scheda riporta le seguenti informazioni:

- Dati generali
- Dimensioni e limiti
- Impaginazione e lay-up (immagini)
- Materiali
- Lay-up
- Galvanica
- Immagine
- Foratura

- Scontornatura
- Finitura
- Controllo
- Fornitori

3.2 Costruzione inner layer

A questo punto si parte con il processo vero e proprio.

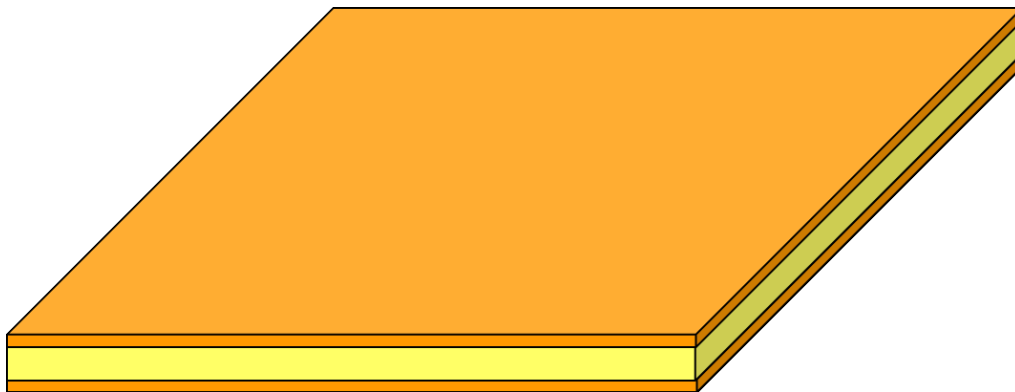


Fig.3.1

Un Inner è costituito da due strati di rame separati da dielettrico.

3.2.1 Microincisione

Inizialmente viene effettuata una microincisione chimica la quale ha lo scopo di asportare una determinata quantità (circa $0,7 \div 0,9\mu\text{m}$) di rame rendendo rugose le due superfici del laminato. Questa fase viene realizzata attraverso degli ugelli che spruzzano una determinata soluzione su entrambe le superfici del laminato (Top e Bottom). L'esperienza di lavorazione ha messo in evidenza che la superficie bottom del laminato viene poco più incisa rispetto alla superficie top in quanto l'azione della gravità contrasta il ricambio della soluzione in quest'ultima. L'utilizzo di un processo di incisione chimica rispetto ad

uno di spazzolatura meccanica consente di ottenere un'uniformità di incisione maggiore.

3.2.2 Laminazione

La fase appena descritta si rende necessaria al fine di aumentare l'adesione di un film liquido fotosensibile ($10 \div 12 \mu\text{m}$) il quale viene successivamente distribuito sui pannelli in oggetto per mezzo di un laminatore costituito da due rulli. Per essiccare il film liquido sulle due superfici i pannelli vengono fatti passare in un forno con temperatura dell'ordine di $180\text{-}200^\circ\text{C}$, in seguito essi vengono raffreddati e portati alla stessa temperatura del vetro dell'espositore al fine di evitare deformazioni delle superfici trattate. Usare un film liquido invece che un film secco (dry film) comporta diversi vantaggi quali il costo che è di circa $1/6$ e la possibilità di ottenere una definizione migliore (quindi piste e isolamenti più sottili) grazie al minore spessore del film (10 micron contro 40).

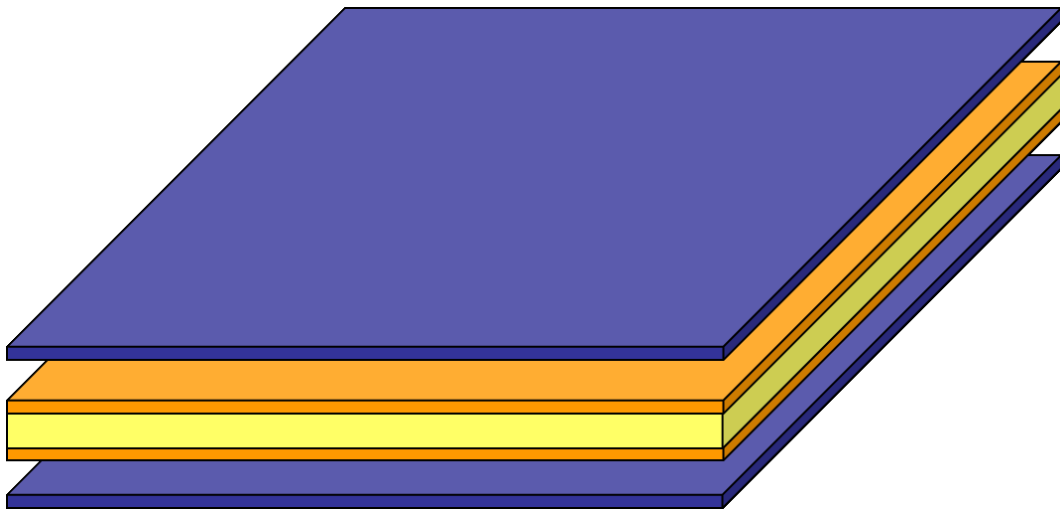


Fig.3.2

3.2.3 Esposizione

A questo punto, utilizzando le pellicole emesse dal CAD, i pannelli vengono fatti passare all'interno dell'espositore (Bacher) il quale ha il compito di impressionare esclusivamente il film in corrispondenza del circuito e lo polimerizza (processo positivo → pattern bianco su sfondo nero).

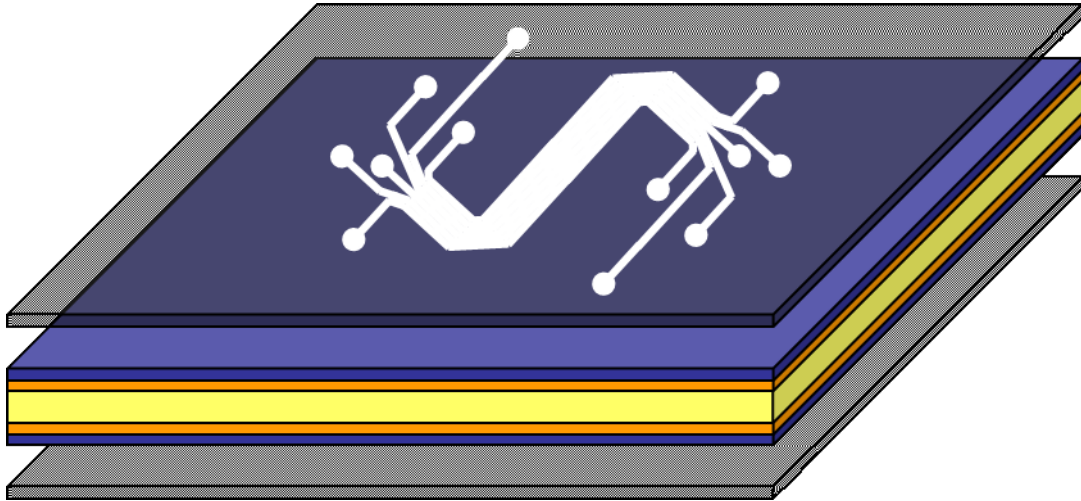


Fig.3.3

3.2.4 Sviluppo

Realizzato quanto detto si passa alla fase di sviluppo nella quale viene rimosso, con una soluzione, il film dalle zone non impresse quindi quello non polimerizzato scoprendo di conseguenza il rame sottostante.

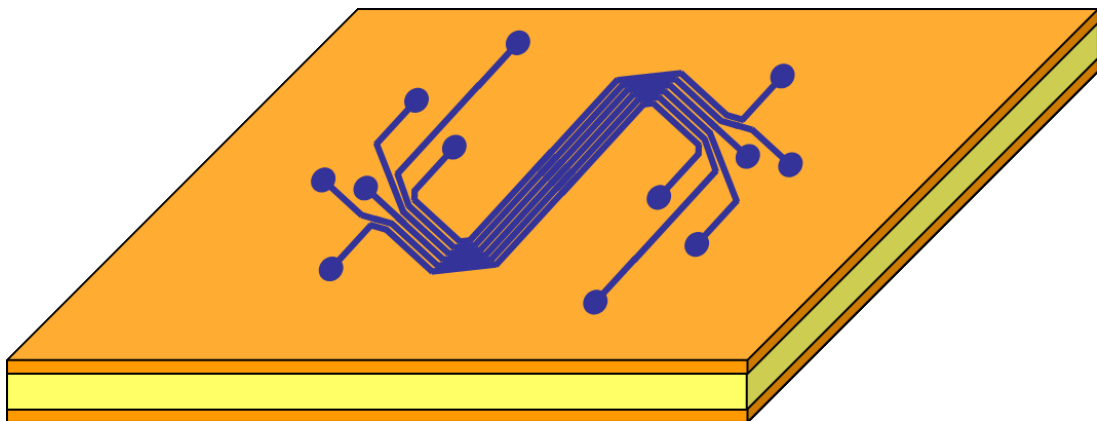


Fig.3.4

3.2.5 Incisione

Per eliminare il rame appena citato, viene effettuata un'incisione a base acida (carbonato di sodio) la quale scopre il dielettrico sottostante il rame non protetto quindi, a seguito di questa operazione, sulle superfici del pannello il rame è presente solo in corrispondenza dell'effettivo circuito che deve essere realizzato e protetto dal film polimerizzato.

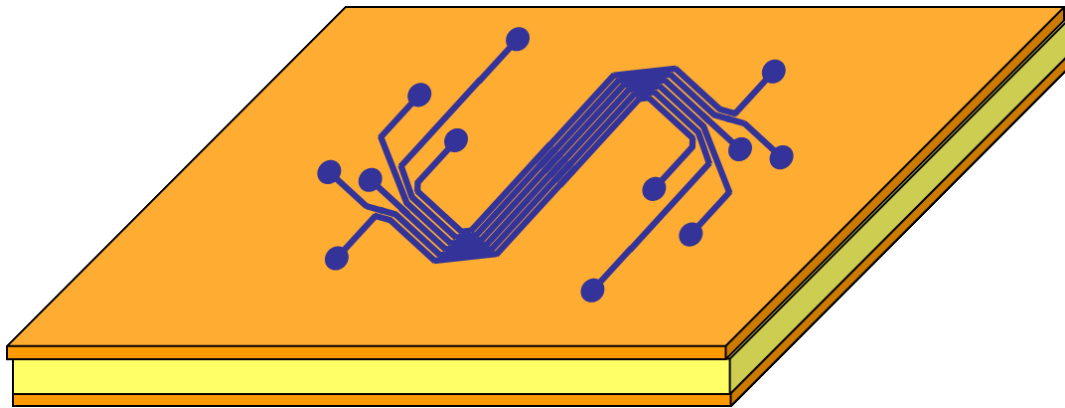


Fig.3.5

3.2.6 Strippaggio

A questo punto viene effettuato lo strippaggio del film polimerizzato mettendo in evidenza il circuito vero e proprio concludendo in tal modo la fase di costruzione degli inner.

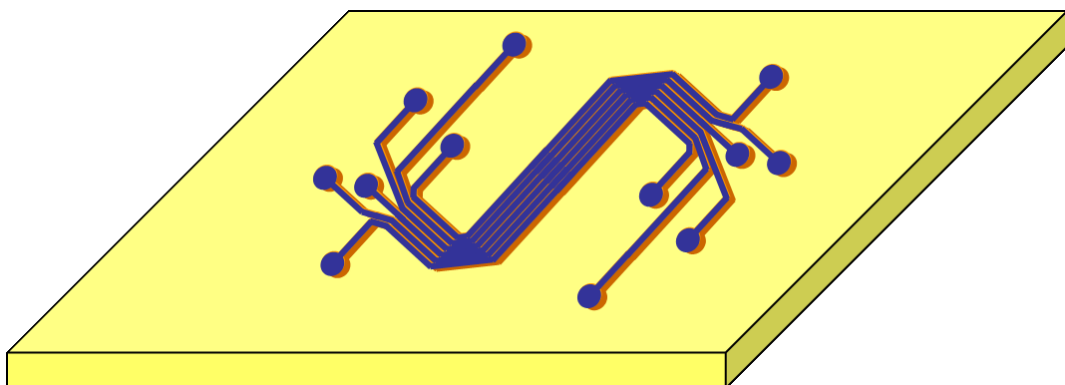


Fig.3.6

Il laminato inciso e così trattato viene denominato INNER LAYER il quale costituirà gli strati interni del circuito stampato. L'azienda provvede alla realizzazione degli stessi presso lo stabilimento di Manfredonia.

3.3 Reparto pressatura

I diversi inner realizzati vengono successivamente sovrapposti, inseriti su spine di riferimento e alternati con strati di prepreg di spessore opportuno, punzonati con delle punte calde al fine di mantenere i diversi strati solidali e non perdere l'allineamento tra gli stessi. Quanto ottenuto, prima di essere pressato, viene coperto alle due estremità con fogli di prepreg e rame realizzando in tal modo quello che è definito MASS LAM. Quest'ultimo è in seguito mandato in pressa dove si combina un'azione meccanica ad una termica durante le quali la resina presente nei prepreg fluidifica consentendo l'incollaggio tra gli inner e conferendo al circuito proprietà stabili nel tempo. Il prodotto in uscita dalla pressa è definito MULTISTRATO il quale subirà le lavorazioni successive per la realizzazione dei circuiti stampati finiti.

Il prepreg assume un ruolo determinante nello spessore finale del circuito, infatti il cliente inserisce tra le specifiche anche questo come dettaglio e, visto che l'altezza delle piste è fissa, per raggiungere lo spessore voluto bisogna adattare i vari dielettrici disponibili alle esigenze.



Fig.3.7

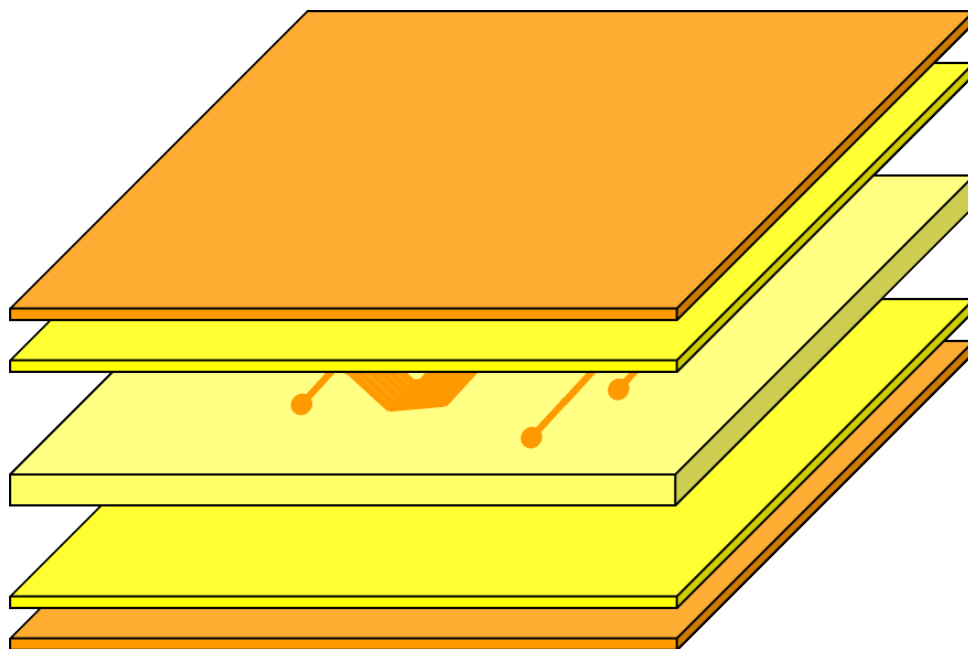


Fig.3.8

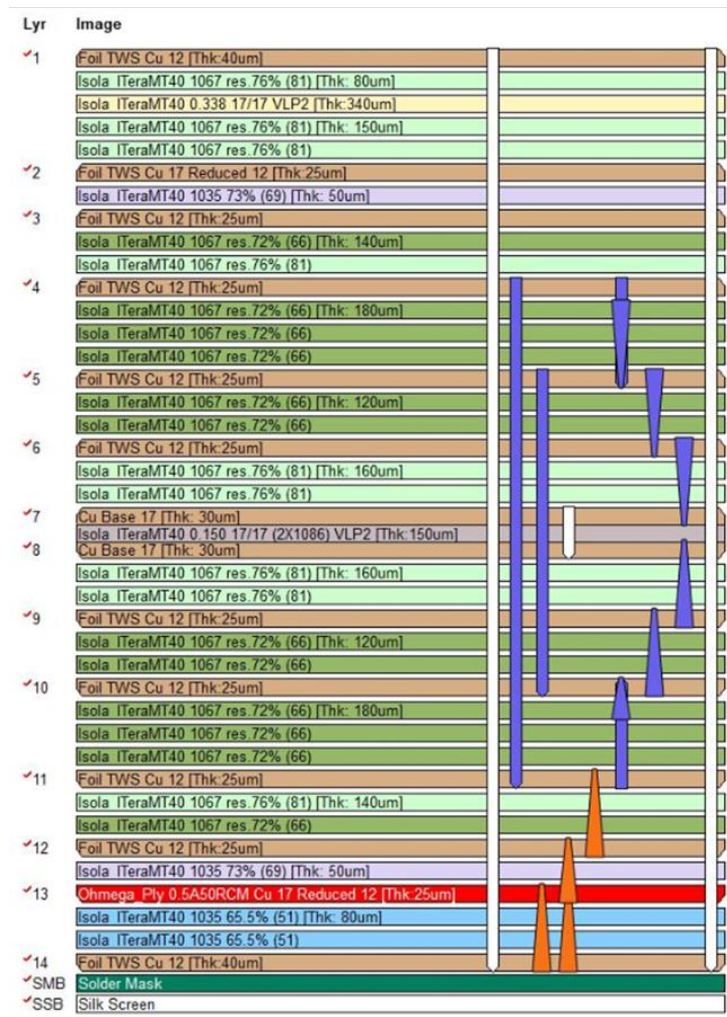


Fig.3.9

3.4 Rifilatura e riferimenti

Il “Multistrato” in uscita dalla pressa deve essere quanto più allineato per garantire la connessione fra i diversi strati. Il pannello si presenta con foil di Cu sulle superfici esterne. Per consentire il collegamento fra piste e piazzole dei vari inner è necessario immettere il pannello in un macchinario a raggi-X, che fornisca uno zero per il programma di foratura. Ciò avviene attraverso la realizzazione di “riferimenti”, eseguiti mediando le “immagini” dei diversi strati. I pannelli in entrata nella macchina a raggi-X devono essere a monte rifilati in dimensioni

standard per garantire un corretto impilaggio, anche nelle stazioni e fasi successive.



Fig.3.10

3.5 Reparto foratura

La foratura dei circuiti può avvenire sia meccanicamente sia con macchine laser. Oltre alla differenza di tecnologia impiegata, queste due tecniche dissomigliano anche per dimensioni finali di fori (laser raggiunge dimensioni più critiche), velocità di esecuzione (meccanica più lenta) e tipologie di lavorazioni eseguibili (solitamente la foratura cieca viene fatta col laser). Può essere ripetuta più volte a seconda del build up del circuito ma rimane di fondamentale importanza sia la centratura della foratura rispetto agli strati inferiori (che viene fatta sfruttando particolari accorgimenti) sia la distorsione del file CAD per consentire un adattamento dell'immagine del circuito alle deformazioni dello stesso, frutto di sollecitazioni esterne precedentemente subite. Oltre ad applicazioni meccaniche del circuito finito, i fori sono necessari per garantire il contatto elettrico tra i vari strati del circuito; ecco spiegato il motivo delle diverse tipologie: ciechi, passanti o di vias.

La foratura laser solitamente viene impiegata per effettuare forature cieche ed è facilmente riconoscibile dall'altra in quanto lascia sui fogli

di rame un alone di bruciatura intorno ai fori. Si possono effettuare da 30 a 100 fori al secondo ma la velocità dipende dalle dimensioni dei fori e dal numero di strati del pannello da forare. La tecnologia utilizzata in azienda sfrutta i diodi Yag, i quali hanno una buona potenza e quindi permettono una maggiore velocità della macchina in fase di lavorazione rispetto ai laser CO2. Questa però è un'arma a doppio taglio in quanto si deve fare molta più attenzione nella fase di settaggio della macchina per evitare lo sfondamento dello strato inferiore di rame

La foratura meccanica è sfruttata sia per la foratura cieca che la passante, si possono effettuare da 200 a 300 fori al minuto (3-5 al secondo) ma anche in questo caso la velocità di lavorazione dipende dalle dimensioni dei fori e dal numero di strati del pannello da forare. Il settaggio è determinante per la buona riuscita del foro ed i parametri su cui si gioca sono la velocità periferica della punta (150m/min standard e 120m/min per materiali HTg), la velocità del mandrino (30000-150000rpm), il chip load (avanzamento della punta per giro: 0,005-0,08mm/giro), la velocità di avanzamento (1-4m/min) e di ritorno della punta (2- 25m/min).



Fig.3.11



Fig.3.12

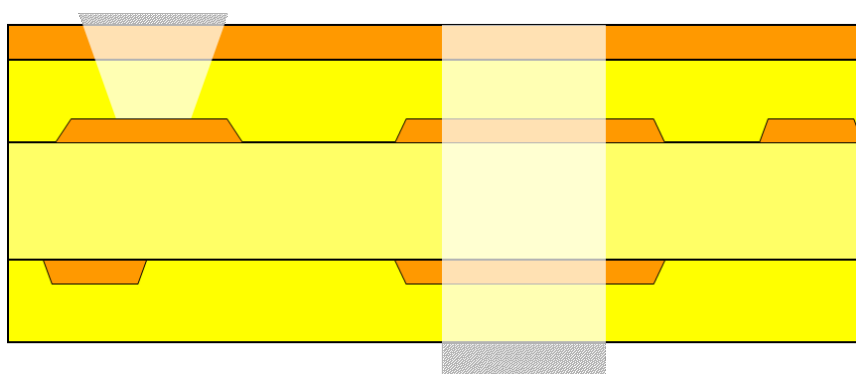


Fig.3.13

3.6 Reparto metallizzazione

La prima linea di metallizzazione prevede una pulizia dei fori (linea di satinatura ad umido) da anteporre alla metallizzazione vera e propria degli stessi. Viene applicata per tutti i circuiti stampati professionali, multistrato e agli inner layer. La pulizia dei fori fatta con la satinatura ad umido è puramente meccanica ed ha lo scopo di rimuovere la bava presente in superficie. In sostanza vi sono delle spazzole abbinate a dei rulli che abradano il pannello. La linea di metallizzazione vera e propria è costituita da moduli numerati, ognuno di essi è suddiviso in un certo numero di sezioni che possono essere attivate (ON) o disattivate (OFF). L'intera prima linea può essere suddivisa in tre fasi: fase del desmearing

(P), fase del rame chimico (LB), fase del rame elettrolitico (Cu impulse). Le prime due sono caratterizzate da una velocità costante e maggiore o uguale rispetto alla terza, per cui i pannelli risultano più distanziati nelle prime due fasi rispetto alla terza. Come limite la prima linea lavora con aspect ratio (rapporto spessore/diametro) minore o uguale a 10:1, spessore max 4,5 mm e larghezza del pannello 640 mm. Nel caso di fori laser il limite è circa 0,8:1 (inteso come rapporto tra profondità del foro non passante e diametro – es. 80/140). Considerando fori laser e passanti a parità di situazione “al limite”, è più difficile metallizzare il foro passante per motivi di fluidodinamica. Per aspect ratio critiche si utilizzano velocità basse (tempi di contatto maggiori) al fine di favorire il desmearing e la deposizione chimica del rame. Comunque le velocità vengono scelte anche in funzione della tipologia del materiale da trattare e della sua Tg. Le vasche dei lavaggi e dei bagni attivi sono dotate di flood bar, ovvero maschere utilizzate in tutti i moduli che concentrano i getti e aumentano il ricambio dei liquidi nei fori. Lo stesso obiettivo, nel caso dei fori laser e con riferimento al plater (rame elettrolitico), viene raggiunto con pompe afd. Per quanto concerne il reintegro dei reagenti nei singoli bagni attivi (in base ai m2 lavorati) si seguono le indicazioni di massima della ATOTECH, poi in base ai risultati delle analisi chimiche ed all’esperienza di lavorazione i valori delle aggiunte vengono ulteriormente perfezionati. Il reintegro viene fatto con il sistema feed and bleed tramite pompette dosatrici ed acqua.

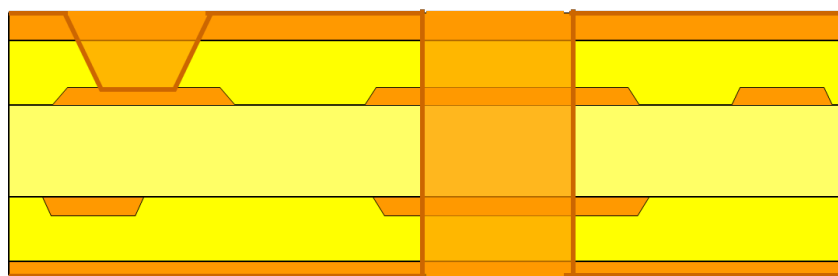


Fig.3.14

3.7 Reparto Dry-Film

Nello schema “Pattern Plating” il dry film viene messo dopo la prima linea di metallizzazione allo scopo di creare il circuito sugli strati esterni di rame. In un primo momento avviene la laminazione del dry film, questa è seguita dall’esposizione e dallo sviluppo del dry film stesso. Una regola di validità generale è che con spessori del dry film minori si riesce ad ottenere una definizione migliore delle piste. Tuttavia è importante considerare gli spessori di rame e stagno da depositare eventualmente in seconda linea di metallizzazione; ridotti spessori di dry film potrebbero non consentire il raggiungimento dell’accrescimento metallico preteso in seconda linea.

3.8 Linea SES

(Strippaggio dry film, incisione ammoniacale e strippaggio stagno)

Le tre operazioni in oggetto vengono effettuate in due linee distinte; una dove vengono fatti lo strippaggio del dry film e l’incisione ammoniacale e l’altra dove avviene lo strippaggio dello stagno. Il pannello a monte di queste fasi si presenta con il rame accresciuto in galvanica in corrispondenza del circuito (piste, fori, masse e piazzole). Questo rame però non è visibile perché in galvanica si è provveduto a ricoprirlo con lo stagno (di colore biancastro); è grazie a questo stagno protettivo che poi in incisione è possibile togliere il rame laterale al circuito senza intaccare il circuito stesso. Tornando alla conformazione superficiale del pannello prima delle tre operazioni c’è da aggiungere che la parte complementare al pattern del circuito è costituita dal rame del copper foil (non accresciuto) ricoperto da dry film polimerizzato (di colore blu) a seguito dell’esposizione UV. Lo strippaggio del dry film ha lo scopo di eliminare proprio il dry film polimerizzato rimasto sul pannello nelle aree all’infuori del pattern. Questa operazione è seguita

dall'incisione ammoniacale, dove viene eliminato il rame del copper foil che era al di sotto del dry film. L'ultima linea esegue lo strippaggio dello stagno in modo da avere alla fine un pannello in cui sono presenti solamente il pattern del circuito in rame e il dielettrico.

La linea strippaggio dry film ed incisione ammoniacale è caratterizzata da 2 velocità, una per il tratto relativo allo strippaggio ed una per il tratto relativo all'incisione. All'inizio delle lavorazioni vengono fatte prove con diverse velocità di avanzamento nella linea al fine di ottenere l'ottimizzazione dell'incisione. L'esito di queste prove viene stabilito analizzando direttamente le larghezze delle piste più sottili all'interno dei pannelli e valutando le larghezze di 3 piste campione poste lateralmente sul pannello (rispettivamente con larghezza nominale di 130 - 160 - 200 μm). Ad esempio nel caso in cui si ha un'incisione eccessiva si tende ad aumentare la velocità d'avanzamento nella relativa linea.

3.9 Reparto Solder Mask

Per solder mask si intende una maschera di saldatura che viene realizzata con una particolare vernice che viene applicata sugli esterni del circuito dopo lo strippaggio dello stagno. La funzione del solder mask è quella di isolare elettricamente il pattern esterno e proteggerlo da eventuali azioni meccaniche durante la fase di montaggio dei componenti. Questa vernice viene opportunamente essiccata, esposta e sviluppata. In sostanza si arriva ad avere la copertura in corrispondenza delle aree con dielettrico e con le piste mentre i fori e alcune zone di massa sono lasciati scoperti. Le operazioni di questo reparto possono essere distinte sinteticamente in satinatura iniziale, velatura, esposizione, sviluppo e polimerizzazione finale del solder. Le prime due

vengono fatte in un'unica linea dove la velocità di avanzamento dei pannelli è gestita dal software della velatura ed è costante (solitamente si imposta un intervallo di 25 secondi tra la velatura di un pannello e l'altro). Tramite il software della velatura vengono impostati e monitorati ad esempio l'intervallo temporale tra il carico dei pannelli, la viscosità della vernice, la sua temperatura, la sua portata, la temperatura dei forni e il dosaggio del diluente. La fase di velatura deve garantire principalmente lo spessore di copertura richiesto in corrispondenza del dielettrico e delle piste.

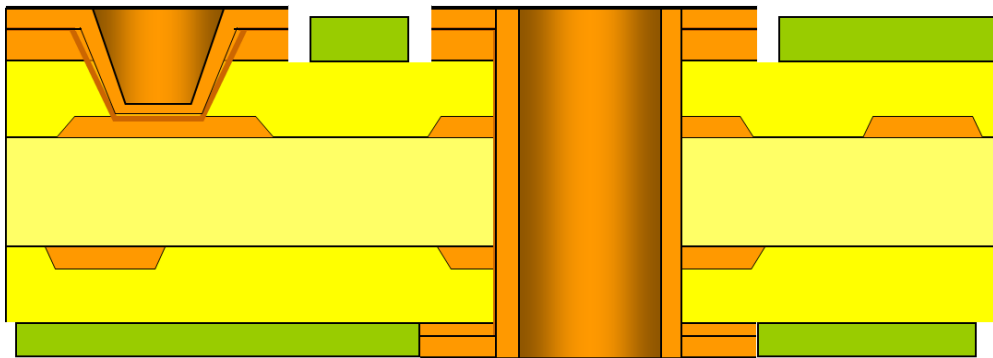


Fig.3.15

3.10 Reparto finiture

Il trattamento di finitura è l'ultimo ad umido che subiscono i pannelli. Esso consiste nel ricoprire le parti in rame rimaste scoperte con uno strato metallico od organico. Gli obiettivi sono proteggere il rame dall'ossidazione e fornire un adeguato supporto per la successiva saldatura dei componenti. I trattamenti di finitura che vengono fatti internamente alla Somacis sono i seguenti: oro chimico (ENIG e ENEPIG), doratura elettrolitica (Ni/Au o Au/Au): Hot air levelling (HAL) Sn/Pb, Argento chimico. La finitura più impiegata è la ENIG, mentre la finitura HAL sta quasi cadendo in disuso per via delle normative europee RoHS le quali prevedono che dal 1° luglio 2006

certe sostanze siano eliminate dai componenti elettronici (tra cui il Piombo).

3.11 Reparto serigrafia

In generale, la serigrafia è un processo di stampa che sfrutta la possibilità di far passare l'inchiostro nella trama di un tessuto, un tessuto di seta o di nylon a trama finissima viene montato, ben teso, su un telaio di legno. Il tessuto viene poi trattato in modo che le parti non stampanti siano otturate e rimangano invece libere quelle in cui l'inchiostro, spremutovi sopra, possa trasferirsi sul supporto. Nel nostro caso, questo si ottiene sovrapponendo al tessuto una pellicola fotosensibile (già sviluppata) sulla quale sono state impresse in negativo le scritte e le figure da trasferire (che saranno quindi forate rispetto al resto del film). Le operazioni effettuate in questo reparto sono le ultime del processo produttivo e principalmente sono due: l'occlusione dei fori ed il lettering. La prima serve ad evitare che, durante il montaggio dei componenti, colate di stagno attraversino i fori passanti e vadano a cortocircuitare le piste dall'altro lato del circuito stampato, la seconda viene usata per stampare sui circuiti tutte le informazioni richieste dal cliente (marchio, nomenclatura componenti).

4. Difettosità e controlli sui PCB

In questo capitolo sono illustrati ed esplicitati tutti i test effettuati in azienda come feed-back per valutare la bontà delle lavorazioni effettuate, sulla base di questi siamo in grado di valutare la qualità del prodotto e la funzionalità dello stesso. Una casistica delle problematiche tipiche maggiormente riscontrabili nella produzione di un circuito stampato.

4.1 Test visivo

E' un'operazione puramente manuale in quanto l'operatore deve osservare accuratamente ad occhio nudo ogni singolo pannello cercando di individuare eventuali difettosità principalmente a livello estetico. Viene ripetuto due volte, la prima dopo l'esposizione e lo sviluppo del dry film (in questo caso si va a verificare l'integrità dell'immagine impressionata sul rame), la seconda a circuito ultimato per verificare la presenza di difetti estetici sul circuito stampato.

4.2 Test elettrico

E' un'operazione effettuata prima della finitura (tranne che per l'Hot Air Levelling e le finiture in oro) sul 100% del lotto, serve per testare la funzionalità del prodotto e la si realizza seguendo due metodologie diverse: la prima sfrutta un letto di aghi conduttivi ed è usata per il controllo della produzione in quanto richiede una lunga fase di preparazione, la seconda invece sfrutta il principio di funzionamento delle sonde mobili (ATG) ma viene impiegata solo per campionature in quanto è più lenta. La prima operazione effettuata in reparto è quella di analisi dei file UCAM per l'individuazione e l'ottimizzazione dei punti di test relativi a ciascuna delle due facce del circuito. Successivamente vengono generati tre file per la realizzazione dell'attrezzatura: uno per la foratura dei sostegni isolanti, uno per la macchina di controllo ed il terzo per la ricerca dei problemi. Per ogni faccia del circuito si ha questa terna di file. L'attrezzatura è una sorta di adattatore che consente di mettere in contatto ciascun pad libero da solder con il connettore della macchina; questo tramite degli aghi conduttivi (diametro 0,25-0,8 μ m) supportati e distanziati da alcuni sostegni isolanti opportunamente forati. Si utilizza questa tecnica perché il passo della macchina (distanza tra due connettori adiacenti) è comunque maggiore della distanza

esistente tra pad vicini e per forza di cose è necessario adattare le differenti dimensioni fisiche. In azienda sono disponibili tre macchine e ciascuna di esse ha un passo differente.

I valori di riferimento adottati in azienda per il controllo elettrico sono: 30-40 Ω per la conduzione, 30M Ω per l'isolamento e 150V di tensione d'esercizio. La macchina a sonde mobili non necessita dell'attrezzatura in quanto una volta caricato il circuito, il controllo viene effettuato pad per pad seguendo due fasi distinte: la prima di verifica della conducibilità delle piste (individuazione interruzioni), la seconda di test degli isolamenti con metodo capacitivo (individuazione corti).

4.3 Test ottico

Viene fatto sul 100% della produzione e riguarda tutti gli inner del multistrato. La macchina impiegata nella lavorazione (AOI) scannerizza una faccia del pannello e la confronta con il file prodotto dal CAD. Il software permette di impostare i valori soglia di isolamenti, dimensione delle piste e disallineamento dei fori; oltre i quali la macchina segnala errore. Nei punti in cui vengono riscontrate anomalie l'operatore dovrà analizzare lo stato dei collegamenti e apportare le dovute modifiche (ove è possibile) aprendo eventuali corti o aggiungendo pasta saldante d'argento in caso d'interruzioni.

4.4 Microsezioni

E' un test eseguito in laboratorio ed è un metodo utilizzato per sezionare i circuiti stampati e verificarne la conformazione interna. Può essere fatto sia su richiesta del cliente, per controllare il rispetto delle specifiche richieste, che per verificare la bontà dei processi in corso d'opera. La prova consiste nel prelevare una porzione di circuito, lavorarla con lapatrice (usando carte aventi grane da 180, 240, 320, 400

e 600), inglobarla con una miscela di resina e indurente per poterla infine esaminare al microscopio. In base ai risultati conseguiti si valutano i possibili provvedimenti sulla linea di produzione atti a risolvere i problemi evidenziati dal test.

4.5 Test d'impedenza

E' un test volto a valutare l'entità dell'impedenza intrinseca delle piste realizzate nei circuiti stampati. Questo test, denominato "test ad impedenza controllata", può essere distinto in due tipi:

- Impedenza caratteristica
- Impedenza differenziale

Nel primo test si realizza un coupon avente lo stesso numero di strati, lo stesso build up del circuito originale e, in ogni layer, è presente una pista rettilinea di 15 cm. Con questo tipo di test si esegue un controllo prettamente meccanico delle specifiche imposte dal cliente (larghezza e spessore piste, altezza dielettrico e fattore di incisione) in quanto rispettando queste tolleranze si ha un certo margine di sicurezza anche sull'effettiva impedenza offerta dalla microstriscia. Nel secondo test si realizza lo stesso coupon di sopra con la differenza che ciascun layer è caratterizzato da due piste rettilinee di 15 cm opportunamente distanziate. Con questo tipo di test oltre a verificare le specifiche del cliente menzionate in precedenza, si valutano anche le dimensioni dell'isolamento. Solitamente la tolleranza richiesta dai clienti su questo parametro è di $\pm 10\%$ su valori standard di 50 e 100 Ω . La misura viene fatta a frequenza costante e va a monitorare l'andamento dell'impedenza al variare della lunghezza o del tempo.

5. Il concetto di Lean Manufacturing

Il concetto di Lean Manufacturing è una filosofia di produzione sviluppata dal sistema Toyota Production System (TPS) negli anni '50. Si basa su un approccio alla produzione che cerca di eliminare gli sprechi e migliorare la qualità e l'efficienza, al fine di ridurre i costi e aumentare la soddisfazione del cliente.

I principi fondamentali del Lean Manufacturing sono i seguenti:

1. Flusso di produzione: il flusso di produzione deve essere continuo e senza interruzioni, in modo da ridurre gli sprechi e aumentare l'efficienza.
2. Pull system: il processo di produzione deve essere guidato dalla domanda del cliente e non dalla produzione in eccesso.
3. Zero difetti: l'obiettivo è di produrre senza difetti, in modo da evitare la perdita di tempo e risorse causata dalla riparazione o il rifacimento dei prodotti.
4. Semplicità: il processo di produzione deve essere il più semplice possibile, evitando attività inutili che rallentano la produzione e aumentano i costi.
5. Coinvolgimento dei dipendenti: tutti i dipendenti devono essere coinvolti nella produzione e nell'identificazione degli sprechi e dei problemi, al fine di migliorare costantemente il processo produttivo.

La filosofia del Lean manufacturing è stata adottata da molte aziende di tutto il mondo, che hanno implementato i suoi principi per migliorare la loro efficienza produttiva e ridurre i costi.

5.1 Strumenti e tecniche

Esistono numerosi strumenti e tecniche utilizzati nella Lean Manufacturing per identificare e ridurre gli sprechi e aumentare l'efficienza dei processi produttivi.

Di seguito sono elencati alcuni degli strumenti più comuni della Lean Manufacturing:

1. 5S: un approccio per organizzare gli spazi di lavoro in modo efficiente, eliminare gli sprechi e migliorare la sicurezza sul lavoro.
2. Kanban: un sistema di gestione degli inventari che consente di ridurre gli stock in magazzino e migliorare il flusso di lavoro.
3. Value Stream Mapping: un'analisi dei flussi di valore per identificare gli sprechi e migliorare l'efficienza dei processi produttivi.
4. Kaizen: un processo di miglioramento continuo in cui i dipendenti sono coinvolti nell'identificazione e nell'eliminazione degli sprechi.
5. Poka-yoke: un approccio per eliminare gli errori di produzione attraverso la progettazione di processi e strumenti di lavoro che impediscono gli errori.
6. Just-in-Time: un sistema di produzione in cui i materiali e i prodotti sono forniti solo quando necessari, in modo da ridurre gli stock e aumentare l'efficienza.
7. Takt Time: un metodo per calcolare il tempo disponibile per ogni operazione di produzione in modo da creare un flusso di lavoro equilibrato. Questi sono solo alcuni degli strumenti utilizzati nella Lean Manufacturing. Ogni strumento è progettato per aiutare le aziende a eliminare gli sprechi e migliorare l'efficienza dei processi produttivi.

5.2 QRM

La metodologia QRM (Quick Response Manufacturing) è un approccio strategico alla gestione e all'organizzazione delle operazioni

manifatturiere, che mira a ridurre i tempi di risposta e migliorare l'efficienza complessiva del sistema produttivo. La QRM si concentra sulla riduzione del tempo complessivo di produzione, riducendo al minimo i tempi di attesa e gli sprechi lungo tutta la catena del valore. Per far ciò la QRM usa la MCT che punta ad individuare sprechi e tempi morti. La QRM è stata sviluppata da Rajan Suri, un professore di ingegneria industriale presso l'Università del Wisconsin-Madison negli Stati Uniti. La metodologia è stata introdotta per la prima volta negli anni '90, quando Suri ha iniziato a lavorare con diverse aziende manifatturiere per affrontare i problemi di tempi di consegna prolungati e scarse prestazioni di consegna. Questa filosofia si basa sulla Lean Manufacturing, ma si differenzia per l'attenzione specifica dedicata alla gestione del tempo. L'obiettivo principale della QRM è ridurre i tempi di attraversamento (lead time) all'interno dell'azienda, concentrandosi sulla velocità di risposta alle richieste dei clienti.

La metodologia si fonda su quattro principi fondamentali:

1. Organizzazione delle cellule di produzione: le attività vengono organizzate in celle di produzione focalizzate su famiglie di prodotti simili. Questo riduce le distanze fisiche tra le operazioni e semplifica il flusso di lavoro, consentendo una maggiore flessibilità e riducendo i tempi di setup.
2. Spostamento dalla logica del lotto economico: la QRM promuove la riduzione dei lotti di produzione e il passaggio a una produzione "lotti di dimensioni uno" (lot size one). Questo consente di ridurre i tempi di attraversamento e soddisfare in modo più rapido le esigenze specifiche dei clienti.
3. Gestione del tempo: la QRM si concentra sulla valutazione e sulla riduzione dei tempi di attraversamento in ogni fase del

processo produttivo. Vengono utilizzate tecniche come il Time-Based Management (TBM) per identificare e affrontare i ritardi, gli intoppi e le inefficienze che possono influire sui tempi di consegna.

4. Sviluppo di una cultura aziendale focalizzata sulla velocità: si richiede un cambio culturale all'interno dell'azienda, con una maggiore enfasi sulla velocità, la riduzione degli sprechi e l'eliminazione delle attività che non aggiungono valore. Vengono implementati sistemi di gestione visiva e di coinvolgimento dei dipendenti per migliorare la comunicazione e promuovere il coinvolgimento di tutti nella riduzione dei tempi di attraversamento.

La QRM trova applicazione in diverse industrie manifatturiere, comprese quelle ad alto mix e basso volume di produzione, come la produzione su commessa, l'ingegneria su ordinazione e la produzione di piccole serie. Attraverso l'implementazione della metodologia QRM, le aziende possono ottenere una maggiore flessibilità.

6. Analisi situazione attuale

Al fine di implementare un qualsiasi sistema gestionale abbiamo bisogno di analizzare la situazione attuale. Per questo studio abbiamo esaminato circa 80 codici. Nell'analisi sono stati impiegati vari strumenti tra cui:

6.1 SPAGHETTI CHART

È un diagramma utilizzato per visualizzare le connessioni e le interazioni tra dei reparti. È chiamato così poiché le linee che rappresentano le connessioni possono assumere l'aspetto di spaghetti

intrecciati. La spaghetti chart è nata nell'ambito dell'ingegneria industriale e della gestione della produzione per analizzare i flussi di materiali o informazioni. È sviluppato per identificare i potenziali problemi di layout o di organizzazione che ha permesso di visualizzare come viaggiavano le commesse all'interno del nostro reparto.

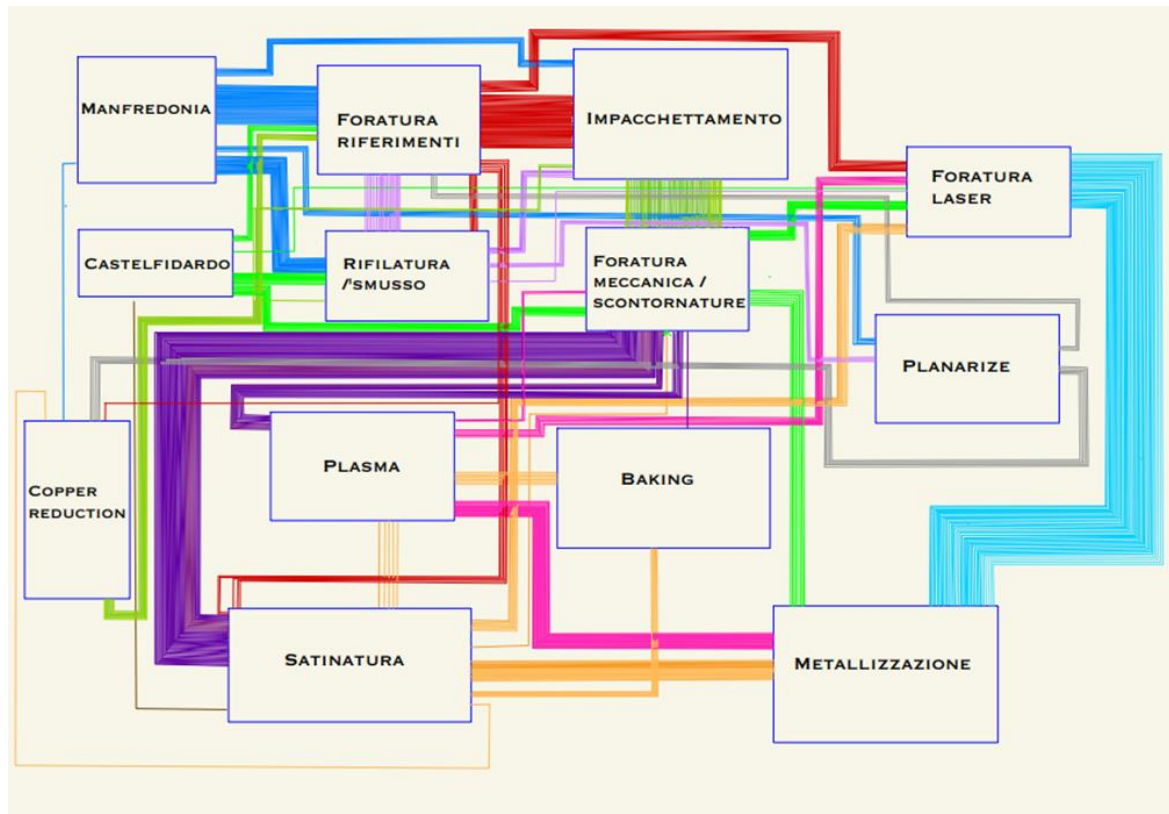


Fig.6.1

6.2 OEE

L'OEE (Overall Equipment Effectiveness), traducibile come Efficienza Globale delle Attrezzature, è un indicatore chiave di prestazione utilizzato nell'ambito dell'ingegneria industriale e della gestione della produzione per valutare l'efficienza e l'efficacia di un'attrezzatura o di un processo produttivo.

L'OEE è un parametro che considera tre fattori principali:

1. Disponibilità: Misura la percentuale di tempo in cui l'attrezzatura è disponibile e in grado di operare rispetto al tempo totale disponibile. Include le interruzioni pianificate (ad esempio, per la manutenzione) e non pianificate (ad esempio, per guasti).
2. Prestazioni: Misura la percentuale di produzione effettiva rispetto alla capacità massima dell'attrezzatura o del processo. Considera le velocità di produzione, i tempi di ciclo e le inefficienze legate alle prestazioni.
3. Qualità: Misura la percentuale di prodotti conformi alle specifiche di qualità rispetto al totale dei prodotti prodotti. Include i prodotti difettosi, i prodotti scartati o i tempi di avvio e fine lotto.

L'OEE viene calcolato moltiplicando questi tre fattori insieme:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilità} \times \text{Prestazioni} \times \text{Qualità}$$

L'obiettivo dell'OEE è fornire una misura quantitativa della produttività, evidenziando gli sprechi e le inefficienze. Con l'OEE, è possibile identificare i punti deboli all'interno del processo produttivo e implementare azioni correttive per migliorare l'efficienza, ridurre i tempi di inattività, aumentare la produzione effettiva e migliorare la qualità.

Di seguito è riportata una tabella con cui è stato calcolato l'OEE per il reparto laser, i dati coprivano le produzioni dal giorno 2 maggio al 8 maggio per i macchinari BL12, BL13, BL15, BL18.

SETTIMANALE				
	BL12	BL13	BL15	BL18
Tempo teorico	115,0	115,0	115,0	115,0
avviamento	3,0	3,0	3,0	3,0
manutenzione ordinaria	1,0	1,0	1,0	1,0
manutenzione straordinaria	0,5	0,5	0,5	0,5
assenza operatore	0,0	0,0	0,0	0,0
pause	3,0	3,0	3,0	3,0
straordinario sabato	7,0	7,0	7,0	7,0
Tempo attivo	114,5	114,5	114,5	114,5
tempo non attivo	0,5	0,5	0,5	0,5
AVAILABILITY	99,6	99,6	99,6	99,6
tempo attrezzaggio	6,0	4,0	3,6	1,8
tempo cambio	2,4	1,7	1,2	0,8
tempo verifica	14,3	10,1	7,5	4,6
tempo settaggio	7,6	5,4	4,0	2,4
tempo totale macchina	32,0	25,5	25,5	10,5
durata media lavorazioni	0,08	0,20	0,30	0,30
tempo totale lavorazioni teorico	62,2	100,6	101,8	60,1
n° Parti processabili nel tempo teorico	777,8	335,0	339,3	200,2
n° Parti processabili teoriche nel tempo attivo	1431,3	572,5	381,7	381,7
n° Parti processate	475,0	335,0	249,0	151,0
PERFORMANCE PRODUZIONE	61,1	100,0	73,4	75,4
Tempo non attivo (mancanza pz/mancato attrezzaggio)	52,3	23,5	12,7	54,4
PERFORMANCE SETTIMANALE MACCHINA	33,2	58,5	65,2	39,6
parti conformi	475,0	335,0	249,0	151,0
QUALITY	100,0	100,0	100,0	100,0
OEE (PRODUZIONE)	60,8	99,6	73,1	75,1
OEE SETTIMANALE REPARTO	33,0	58,3	65,0	39,4

Fig.6.2

Ottenuti questi valori, usando i dati forniti e lo schedulatore è stato possibile individuare le cause che causavano l'abbassamento dell'OEE.

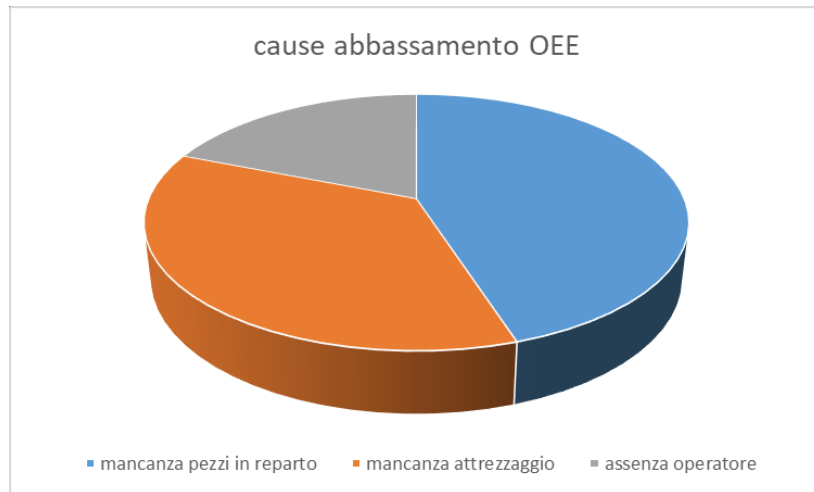


Fig.6.3

6.3 Matrice di Hollier

Il metodo di Hollier è basato sulle matrici di ORIGINI-DESTINAZIONI dove viene calcolato per ogni reparto la sommatoria dei flussi uscenti e la sommatoria dei flussi entranti.

Il metodo consiste:

1. Costruire la matrice from to chart basandosi sui dati di movimentazioni interne
2. Eseguire la sommatoria dei flussi uscenti dal reparto
3. Eseguire la sommatoria dei flussi entranti dal reparto
4. Determinare il rapporto A/DA
5. Sistemare e ordinare in ordine crescente del rapporto A/DA precedentemente ricavato.

I reparti con un valore basso del rapporto A/DA sono caratterizzate da un elevato flusso uscente e da un elevato flusso uscente e da un limitato flusso entrante.

Al contrario un elevato valore del rapporto è caratterizzato da un reparto limitato flusso uscente e un elevato flusso entrante.

\ A												
DA	RIFILATURA	SMUSSO	RIFERIMENTI	FORATURA MECCANICA	FORATURA LASER	COPPER REDUCTION	PLANARIZE	BAKING	PLASMA	SATINATURA	METALLIZZAZIONE	
1 RIFILATURA			20				4					24
2 SMUSSO			1	5	1							7
3 RIFERIMENTI		6		47	8	1				5		67
4 FORATURA MECCANICA					9				13	41	7	70
5 FORATURA LASER											34	34
6 COPPER REDUCTION			6	2								8
7 PLANARIZE			2			3						5
8 BAKING									6			6
9 PLASMA				2	5						19	26
10 SATINATURA				2	9	1		6	7		21	46
11 METALLIZZAZIONE												0
	0	6	29	58	32	5	4	6	26	46	81	

Fig.6.4

Sommatoria triangolo superiore:242

Sommatoria triangolo inferiore:51

		ΣA	ΣDA	A/DA	
1	RIFILATURA	0	24	0	1
2	SMUSSO	6	7	0,857142857	6
3	RIFERIMENTI	29	67	0,432835821	2
4	FORATURA MECCANICA	58	70	0,828571429	5
5	FORATURA LASER	32	34	0,941176471	7
6	COPPER REDUCTION	5	8	0,625	3
7	PLANARIZE	4	5	0,8	4
8	BAKING	6	6	1	8
9	PLASMA	26	26	1	9
10	SATINATURA	46	46	1	10
11	METALLIZZAZIONE	81	0	#DIV/0!	11

Fig.6.5

\ A												
DA	RIFILATURA	RIFERIMENTI	COPPER REDUCTION	PLANARIZE	FORATURA MECCANICA	SMUSSO	FORATURA LASER	BAKING	PLASMA	SATINATURA	METALLIZZAZIONE	
RIFILATURA		20		4								24
RIFERIMENTI			1		47	6	8			5		67
COPPER REDUCTION		6		2								8
PLANARIZE		2	3									5
FORATURA MECCANICA						9		13	41	7		70
SMUSSO		1			5		1					7
FORATURA LASER											34	34
BAKING									6			6
PLASMA					2		5				19	26
SATINATURA				1	2		9	6	7		21	46
METALLIZZAZIONE												0
	0	29	5	4	58	6	32	6	26	46	81	

Fig.6.6

Sommatoria triangolo superiore:244

Sommatoria triangolo inferiore:49

Con un layout di questo tipo si abbassano i codici di ritorno.

6.4 MCT

Esempio cod 5020838 3PNLparametri F3000 10000 fori

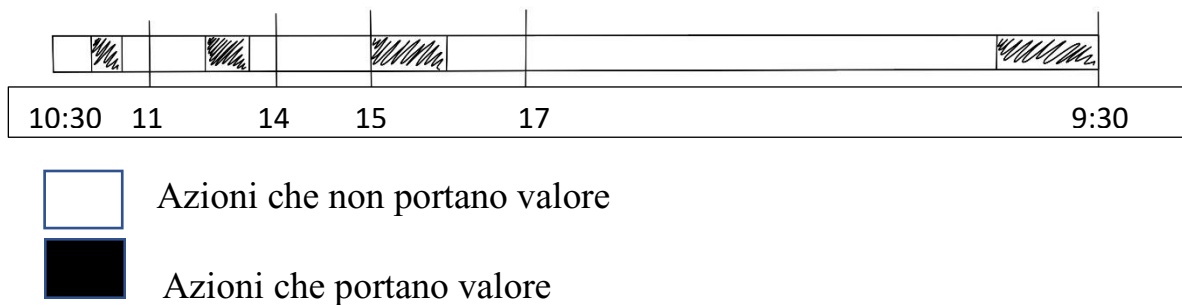


Fig.6.7

RIF=Tatt=5min	Tlas=	300f/min+50s(Nfori/H)
Tlav=?*(PNL)	Tatt=1min	T=35MIN
Tcombo=1*3	Tlav=3min*(PNL)	Tatt=30 min
Trif= 5+7+3=14 min	Tinsp=10min	=65min

Il codice avrebbe dovuto impiegare 65 minuti per essere realizzato invece ha impiegato 23 ore

7. Conclusioni

Per implementare un sistema di Lean Manufacturing in modo efficiente sarà necessario andare a risolvere i seguenti problemi, per avere una visione chiara della situazione aziendale e svolgere un'approfondita analisi dati.

7.1 Problemi riscontrati

1. Le tempistiche standard calcolate dall'ufficio acquisti non rispecchiano le vere tempistiche di lavorazione poiché non tengono in considerazione i tempi di attrezzaggio e di cambio dei pannelli nonché del tempo di sostituzione dei materiali di

consumo. Lo schedulatore inoltre non tiene traccia di tutte le lavorazioni ma solo delle più importanti e questo compromette la veridicità del tempo totale impiegato.

2. Nella situazione attuale gli operatori svolgono solo la chiusura delle fasi senza indicare l'apertura della fase, questo combinato con la mancanza della connessione in rete dei macchinari non permette di estrapolare le informazioni necessarie a un'analisi completa.
3. Difficoltà da parte degli operatori nel passaggio degli ordini da un reparto all'altro, in quanto sarebbe necessario doversi allontanare dal macchinario rischiando che il macchinario svolga qualche lavorazione errata o rallentando la produzione non riuscendo ad alimentare correttamente il carico di lavoro nel macchinario essendo la maggior parte dei lotti di produzione di poche unità. Questo comporta anche un forte abbattimento dell'OEE.
4. Gli ordini di campionature e gli ordini di produzione molte volte vanno in conflitto per le risorse disponibili e molte volte capita di dover interrompere un ordine di produzione per permettere l'avanzamento della campionatura in quanto ha una priorità maggiore, questo comporta un'inefficienza in produzione poiché aumentano gli attrezzaggi e di conseguenza aumentano i tempi.

7.2 Possibili soluzioni

1. Si potrebbe risolvere un'ulteriore spaghetti chart dividendo un i flussi in base al tipo di materiale di partenza, vedere quali sono i suoi spostamenti, in modo di individuare e verificare quali sono le variabili che creano tali deviazioni.
2. L'analisi OEE è stata svolta solo per il reparto foratura laser poiché erano disponibili i dati forniti dai collegamenti in rete dei macchinari. Questa cosa non è stata possibile per altri reparti a causa della mancanza della connessione. Implementando la connessione in rete a tutta l'azienda si potrebbero analizzare i picchi di carico di lavoro e cercare di distribuirli nei momenti morti.
3. Cercare di trasmettere all'operatore l'importanza delle fasi e stimolarlo a chiudere immediatamente la fase dopo lo svolgimento della lavorazione. Si potrebbe cercare di implementare un palmare per ogni operatore in modo di poter fornire una di visione completa degli ordini che stanno arrivando, della priorità di lavorazione e inoltre non dovendolo costringere ad allontanarsi dal macchinario o lasciarlo senza carico di lavoro si può aumentare la produttività.
4. Individuati i flussi, si potrebbero usare dei carrelli automatizzati per gestire lo spostamento dei pannelli in modo di poter agevolare gli operatori, tenere traccia del momento e della quantità degli ordini spostati per individuare i picchi e i momenti morti presenti nella giornata. In modo di valutare se sia necessario anticipare o ritardare i turni di determinati operatori.

5. Verificare se sarebbe meglio saturare un reparto per smaltire gli ordini accumulati nei momenti di basso carico di lavoro, oppure calcolare quale sia la capacità produttiva del reparto in cui si crea il collo di bottiglia e da lì programmare la produzione a monte.

INDICE FOTO

Fig.1.1 Foto circuito stampato rigido.....	2
Fig.1.2 Foto circuito stampato rigido-flex.....	2
Fig.1.3 Foto circuito stampato flex.....	2
Fig.1.4 Copertina bibliografia di Paul Eisler.....	3
Fig.1.5 Foto dei primi circuiti stampati.....	3
Fig.3.1 Esempio inner.....	12
Fig.3.2 Esempio lavorazione laminazione.....	13
Fig.3.3 Esempio lavorazione esposizione.....	14
Fig.3.4 Esempio lavorazione sviluppo.....	14
Fig.3.5 Esempio lavorazione incisione.....	15
Fig.3.6 Esempio lavorazione strippaggio.....	15
Fig.3.7 Foto macchinario pressa.....	17
Fig.3.8 Esempio di disposizione degli inner in pressa.....	17
Fig.3.9 Esempio di costruzione di un Multistrato.....	18
Fig.3.10 Foto macchinario per riferimenti raggi-X.....	19
Fig.3.11 Foto foratrice meccanica.....	20
Fig.3.12 Foto foratrice laser.....	21
Fig.3.13 Esempio lavorazione foratura.....	21
Fig.3.14 Esempio lavorazione metallizzazione.....	22
Fig.3.15 Esempio lavorazione Solder Mask.....	25
Fig.6.1 Flussi individuati SPAGHETTI CHART.....	34
Fig.6.2 Tabella excel OEE.....	36
Fig.6.3 Diagramma cause abbassamento OEE.....	37
Fig.6.4 Tabella matrice iniziale metodo di Hollier.....	38
Fig.6.5 Tabella rapporto A/DA.....	38
Fig.6.6 Tabella matrice finale metodo di Hollier.....	38
Fig.6.7 Analisi MCT di un codice	39

Bibliografia

Lean Manufacturing isitutolean.it

Tecniche di Lean Manufacturing

QRM s4bt.it

QRM e MCT sci-int.com

OEE headvisor.it

Matrice di Hollier [dispense spaghetti chart](#)

Storia del circuito stampato it.linkedin.com

Cos'è un circuito stampato manuale elettronica e automazione Ortolani
e Venturi

Ringraziamenti

Cari familiari, amici e relatore.

Oggi è un giorno speciale per me, un giorno in cui ho raggiunto un traguardo importante nella mia vita accademica. Voglio esprimere, mentre celebriamo la conclusione della mia tesi di laurea triennale, la mia gratitudine a ognuno di voi per il vostro sostegno incondizionato lungo tutto il percorso.

Ringrazio il Prof. Ing. Alessio Vita per avermi seguito e motivato durante la scrittura di questa tesi, l'Ing. Emilio Sergi, la responsabile delle risorse umane Cristiana Simonetti e l'Ing. Stefano Bianchi per la calorosa accoglienza in azienda, per la disponibilità dimostrata nel rispondere ad ogni mia domanda e per tutta l'attenzione avuta durante la mia permanenza.

Un immenso grazie a tutta la mia famiglia, a mio padre Benedetto e a mia madre Rosalina per avermi sempre motivato a dare il massimo e a inseguire ogni mio sogno.

Ai fratelli Antonio e Lamberto che sono stati sempre una grande dimostrazione di forza di volontà, dedizione e costanza.

A mio fratello e amico Andrea con cui ho avuto la fortuna di condividere questo meraviglioso percorso.

Ai miei amici di corso Andi, Asaad e Gianmaria che sono sempre stati presenti per condividere paure, ansie, gioie e soddisfazioni.

Ci tengo a ringraziare anche mia nonna Maria Pia che se ne è andata qualche anno fa ma che è sempre stata per me, una grande fonte di ispirazione di vita.

Infine, vorrei ringraziare tutti gli amici dell'Erasmus, che sono stati come una seconda famiglia. Il tempo passato insieme in cui avete aperto le vostre vite ed esperienze, mi ha dato la possibilità di avere nuove prospettive, scoprire nuove culture e vivere momenti indimenticabili. Aver vissuto questa esperienza con voi mi ha cambiato la vita e rimarrà per sempre nel mio cuore.

Senza l'amore e il supporto di voi tutti non ce l'avrei mai fatta, per questo, grazie di cuore.

Alessandro