

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Tesi di laurea magistrale

**Ottimizzazione delle scorte e riduzione
dello scarto nel processo di produzione
di radiatori per l'industria automotive**



Relatore:

Prof. Maurizio Schenone

Candidato:

Stefano Crivello

Ottobre 2020

Sommario

Questa tesi ha come obiettivo l'analisi e il contrasto di due importanti problematiche che hanno effetti negativi su diversi aspetti della produzione industriale di radiatori in campo automotive, rilevate durante l'esperienza in azienda: la gestione inefficiente delle scorte e la generazione di consistenti quantità di materiali di scarto nel processo.

La gestione delle scorte è cruciale nel momento in cui si voglia puntare a modelli produttivi tendenti al *just in time* (in cui la fabbricazione dei prodotti necessari avvenga solo al momento del loro effettivo bisogno), quindi a una minimizzazione delle scorte, che richiede però che queste siano gestite in maniera quanto più accurata e puntuale possibile; in quest'ottica è stata condotta un'analisi delle aree disponibili in stabilimento per gli stoccaggi di alcuni componenti, allocando la capacità disponibile in base a cadenze e volumi produttivi medi. Il risultato è stata una prima riorganizzazione delle aree di deposito dei materiali (*buffer*) con una differente identificazione dei prodotti, che ha consentito di verificare la funzionalità del dimensionamento effettuato, ponendo questo come base per l'implementazione di un sistema di gestione.

La riduzione dello scarto è invece un aspetto fondamentale per la limitazione degli sprechi e dei costi correlati, ma anche dei problemi legati alla qualità del prodotto; è stato quindi condotto uno studio delle metodologie di rilevazione dello scarto utilizzate in stabilimento e delle conseguenti tecniche di aggregazione dei dati, che consentono a livello decisionale di intraprendere delle azioni per contrastare i fenomeni individuati. È stata analizzata una macchina per la produzione di tubi piatti critica da questo punto di vista, attraverso la valutazione puntuale delle percentuali di scarto relative agli anni 2019 e 2020 (limitato a luglio), rilevando percentuali consistenti nella prima parte del 2019; sono quindi state intraprese e seguite le azioni messe in atto per la riduzione dello scarto prodotto dalla macchina, attraverso il monitoraggio costante degli indicatori di quantità e percentuale (a livello giornaliero e medio mensile). La riduzione della percentuale di scarto è ritenuta positiva sull'arco temporale in esame, ma considerata la complessità della macchina è necessario un monitoraggio che garantisca la continuità dei risultati conseguiti.

Per contestualizzare le problematiche affrontate, i capitoli introduttivi sono dedicati alla descrizione e classificazione degli scambiatori di calore in campo automotive, con dettagli sul radiatore e sul suo funzionamento, al processo produttivo dalla realizzazione delle singole parti al prodotto finito, e a un'introduzione alla *lean manufacturing*, cornice nella quale si collocano l'ottimizzazione delle scorte e la riduzione dello scarto.

Ringraziamenti

Credo sia impossibile affrontare da soli un'intera carriera universitaria, è doveroso ringraziare le persone che hanno dato un contributo al raggiungimento di questo traguardo.

La mia grande famiglia, che anche nei momenti difficili si è stretta intorno a me non facendo mai venire meno quel sostegno che consente uno studio sereno.

Alice, che è sempre rimasta al mio fianco, sopportando i momenti di sconforto e avendo sempre una buona parola per continuare il cammino.

Gli amici di sempre, in particolare Dario, con cui ho avuto modo di condividere parte di questo percorso.

Vorrei infine ringraziare le persone di Denso Thermal Systems con cui ho condiviso il percorso di tirocinio e che hanno reso possibile l'elaborazione di questa tesi, in particolare Gianluigi Cavaglià, che con la sua disponibilità ha sempre cercato di venire incontro alle mie esigenze, nonostante la notevole mole di lavoro.

Indice

Introduzione.....	7
1 Gli scambiatori di calore nei veicoli	9
1.1 Il sistema di raffreddamento motore	9
1.1.1 I sistemi di raffreddamento ad aria.....	10
1.1.2 I sistemi di raffreddamento a liquido	11
1.2 Il sistema di climatizzazione abitacolo.....	19
1.2.1 Unità HVAC	19
1.2.2 Ciclo di refrigerazione	21
1.3 Classificazione degli scambiatori per veicoli.....	23
1.4 Il radiatore	26
1.4.1 Cenni storici.....	26
1.4.2 Componenti	27
1.4.3 Tecniche di assemblaggio	33
1.4.4 Configurazioni del radiatore.....	34
1.5 Meccanismi di scambio termico e dimensionamento degli scambiatori.....	35
1.5.1 Metodo della differenza di temperatura media logaritmica	39
1.5.2 Metodo ε -NTU	40
2 Il processo di produzione dei radiatori	43
2.1 La produzione dei tubi.....	43
2.2 La produzione dei collettori e dei fianchetti.....	45
2.3 La produzione delle alette	47
2.4 Il processo di assemblaggio.....	49
2.4.1 Le fasi del processo	50
2.4.2 Tipologie di macchine	51
2.5 La brasatura	55
2.5.1 Principali elementi della brasatura	56
2.5.2 I principali parametri del processo.....	60
2.5.3 Le fasi del processo di brasatura dei radiatori.....	61
2.6 Il collaudo.....	62

2.7	La finitura	64
3	Lean manufacturing	66
3.1	I principi del <i>TPS</i>	67
3.2	I principi del <i>lean thinking</i>	69
3.3	Strumenti della <i>lean manufacturing</i>	71
3.4	Vantaggi dell'utilizzo di tecniche <i>lean</i>	75
4	La gestione dello scarto	77
4.1	Fasi di analisi dello scarto	77
4.1.1	<i>Produzione dei tubi</i>	78
4.1.2	<i>Assemblaggio</i>	79
4.1.3	<i>Scarico forno di brasatura</i>	81
4.1.4	<i>Collaudo e finitura</i>	82
4.2	Causali di scarto	83
4.2.1	<i>Scarto in assemblaggio</i>	83
4.2.2	<i>Scarto in brasatura</i>	89
4.2.3	<i>Scarto in finitura</i>	97
4.3	Limiti di accettabilità sui difetti estetici dei radiatori.....	98
4.4	Aggregazione dei dati di scarto	103
4.4.1	<i>Quantità di scarto</i>	104
4.4.2	<i>Indicatori e valutazione qualitativa dello scarto</i>	107
5	Il miglioramento di processo e la riduzione dello scarto	113
5.1	Material and Information Flow Diagram (MIFD).....	114
5.1.1	<i>La matrice per l'identificazione dei flussi di materiale</i>	115
5.1.2	<i>Il diagramma dei flussi di materiale</i>	116
5.1.3	<i>MIFD complessivo di reparto</i>	119
5.2	I buffer di processo	122
5.3	Il buffer dei componenti stampati	128
5.3.1	<i>Generalità sul buffer dei componenti stampati</i>	129
5.3.2	<i>Dimensionamento della struttura del buffer</i>	131
5.3.3	<i>Calcolo preliminare del punto di riordino</i>	135
5.4	Il buffer dei tubi.....	137

5.4.1	<i>Generalità sul buffer dei tubi</i>	137
5.4.2	<i>Analisi preliminare dei pesi dei carrelli</i>	138
5.4.3	<i>Dimensionamento della struttura del buffer</i>	140
5.5	La riduzione dello scarto sulla tube mill 9	146
5.5.1	<i>La struttura della macchina</i>	146
5.5.2	<i>Il controllo di qualità dei tubi</i>	150
5.5.3	<i>Valutazione della percentuale di scarto relativa alla tube mill 9</i>	153
5.5.4	<i>Azioni per la riduzione dello scarto sulla tube mill 9</i>	155
5.6	La rilevazione dello scarto in tempo reale	164
6	Conclusioni	167
7	Bibliografia	170

Introduzione

Questo lavoro di tesi nasce nel contesto di un tirocinio presso la funzione produzione dello stabilimento DENSO Thermal Systems S.p.a. di Poirino (Torino).

DENSO Thermal Systems S.p.a. nasce nel 1987, come Magneti Marelli Climatizzazione, sulla spinta della crescita del settore della climatizzazione veicolo. Nel 1990 viene avviata una joint venture con Nippondenso, leader del settore, che porta a una forte espansione in termini di strutture, sviluppo tecnologico e ricerca, con un rafforzamento della presenza sul mercato europeo. Nel 2001 Denso acquisisce la proprietà della società, che prende la denominazione di DENSO Thermal Systems S.p.a. In questo modo l'azienda entra definitivamente a far parte del gruppo.

Il quartier generale del gruppo si trova a Poirino e ospita la direzione generale, gli uffici amministrativi, tecnici e di sperimentazione, oltre a un grande stabilimento produttivo. La struttura produttiva a livello italiano è completata da due stabilimenti, localizzati ad Avellino e Cassino, e da due business unit, una dedicata ai veicoli speciali denominata ORSA (Off Road and Special Application) e una dedicata all'aftermarket che vende componenti sul mercato indipendente dei ricambi.

All'interno dello stabilimento di Poirino sono presenti diversi reparti produttivi:

- stampaggio delle materie plastiche;
- produzione di radiatori;
- produzione di condensatori e masse radianti;
- produzione di tubi e raccordi;
- produzione di compressori;
- assemblaggio di HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) ed ECM (Engine Cooling Module);
- ORSA (Off Road and Special Application).

Il reparto di stampaggio delle materie plastiche produce tutti i componenti plastici che utilizzano i sistemi termici veicolo, quali ventole, vasche per radiatori, convogliatori per gli HVAC. Questo reparto è diviso a sua volta in due unità, una dedicata alle grandi presse, una invece alle piccole presse.

Il reparto tubi e raccordi produce invece componenti in alluminio che vengono utilizzati poi nell'assemblaggio degli scambiatori brasati; oltre ai tubi e raccordi sono incluse in quest'area le presse per lo stampaggio dei componenti in alluminio, quali collettori per radiatori e masse radianti, fianchetti per tutte le tipologie di scambiatori e vasche solo per le masse radianti.

I reparti radiatori, condensatori e masse radianti invece costituiscono il cuore del processo di produzione degli scambiatori brasati, in quanto fabbricano i tubi (solo per i radiatori), assemblano i pacchi radianti ed effettuano la brasatura in forni ad atmosfera controllata. Si procede quindi con collaudi e controlli qualitativi sui pezzi processati.

Per completare il sistema di climatizzazione abitacolo sono necessari alcuni ulteriori componenti, quali i compressori, prodotti in un apposito reparto a Poirino, e gli evaporatori, scambiatori realizzati nello stabilimento di Avellino.

Sono presenti poi due unità di assemblaggio, che su più linee realizzano gli ECM (Engine Cooling Module), moduli che contengono diversi componenti, quali radiatore, condensatore, ventole con i relativi raccordi e collegamenti, e gli HVAC (Heating Ventilating and Air Conditioning), assemblati che contengono tutto il sistema di climatizzazione abitacolo del veicolo, a partire dai comandi a tutto il sistema elettro-termo-meccanico che realizza questa funzione.

Completa lo stabilimento produttivo la business unit ORSA (Off Road and Special Application) che si occupa della fabbricazione di componenti e sistemi assemblati per veicoli speciali, quali camion, trattori agricoli, macchine movimento terra.

1 Gli scambiatori di calore nei veicoli

Gli scambiatori di calore svolgono le funzioni di scambio termico necessarie per il funzionamento di diversi apparati dei veicoli; infatti, sono necessari al raffreddamento dei fluidi correlati al loro funzionamento meccanico (quali il liquido di raffreddamento del motore e gli oli di trasmissione) o a realizzare cicli che consentano la climatizzazione degli abitacoli. Queste due principali funzioni giustificano le forme, le dimensioni e i parametri di esercizio caratteristici di ogni scambiatore.

Nei paragrafi di questo capitolo si introducono e descrivono brevemente i sistemi di raffreddamento motore e di climatizzazione abitacolo, viene fornita una classificazione generale degli scambiatori di calore nei veicoli, per poi entrare nel dettaglio della costruzione del radiatore, la tipologia di scambiatore peculiare di tutti i veicoli che presentano un motore a combustione interna; si forniscono infine alcuni dettagli relativi ai meccanismi di scambio termico che sono alla base del funzionamento degli scambiatori di calore.

1.1 Il sistema di raffreddamento motore

Un motore a combustione interna converte l'energia chimica presente nel carburante in energia meccanica che consente di muovere i veicoli; in questa conversione non tutta l'energia contenuta nel combustibile può essere trasformata in meccanica, una grande frazione viene convertita in calore e deve quindi essere trasferita all'ambiente. Una quota di questa energia termica viene espulsa attraverso i prodotti di combustione, la restante parte deve essere scaricata in ambiente attraverso appositi apparati del veicolo.

Inoltre, un motore a combustione interna ha una temperatura ottimale di funzionamento, alla quale presenta il minimo consumo di carburante e la minima quantità di emissioni inquinanti; è quindi importante che raggiunga più velocemente possibile la suddetta temperatura, e che possa poi mantenerla durante il normale esercizio.

Fatte queste considerazioni è possibile comprendere meglio il ruolo fondamentale di un sistema di raffreddamento per motori a combustione interna: mantenere, indipendentemente dalle condizioni ambiente in cui il motore si trovi a operare, la temperatura ottimale di esercizio,

evitando raffreddamenti dannosi per i consumi e per l'ambiente e surriscaldamenti che potrebbero causare danneggiamenti di parti del motore stesso.

I sistemi di raffreddamento motore esistenti sono di due diverse tipologie, ad aria e a liquido, di cui nel seguito si forniscono alcuni dettagli, in particolare per quella a liquido che è di maggiore interesse attuale.

1.1.1 I sistemi di raffreddamento ad aria

I sistemi ad aria sono costituiti da particolari alettature saldate direttamente sulle parti del motore, in questo modo il calore dovuto alla combustione viene trasferito dalle pareti del motore alle alette, che estendono la superficie di scambio termico consentendo lo smaltimento dell'energia termica in ambiente. La quantità di calore che può essere estratta dal motore è proporzionale alla superficie delle alette e alla quantità di aria che le può attraversare, oltre che alla conducibilità termica del materiale di cui sono costituite. Questo tipo di sistema richiede che il motore sia ben esposto all'aria, per ottimizzare lo scambio termico, ma presenta comunque dei limiti legati alla quantità di calore che è possibile smaltire; veniva quindi usato in passato per il raffreddamento di piccoli motori o per applicazioni in cui il motore potesse essere esposto direttamente all'aria (ad esempio per motocicli oppure aerei a elica).

Questa tipologia di sistemi presenta alcuni vantaggi, quali la semplicità costruttiva e il minor peso, non necessitando di un sistema di gestione del liquido e della sua pressurizzazione, ma non risultano particolarmente efficienti a causa dei limiti posti dallo scambio termico con un gas come l'aria.



Figura 1.1 : esempio di motore raffreddato ad aria

1.1.2 I sistemi di raffreddamento a liquido

Di maggiore interesse attualmente sono i sistemi di raffreddamento a liquido (di cui è possibile osservare la struttura nella Figura 1.2), in cui questo viene pressurizzato e fatto passare in apposite camicie ricavate nel blocco motore, per poi essere estratto e mandato all'interno di un radiatore, che è il componente deputato allo scambio termico con l'ambiente esterno, eventualmente forzato da una ventola motorizzata che si attiva in caso di necessità.

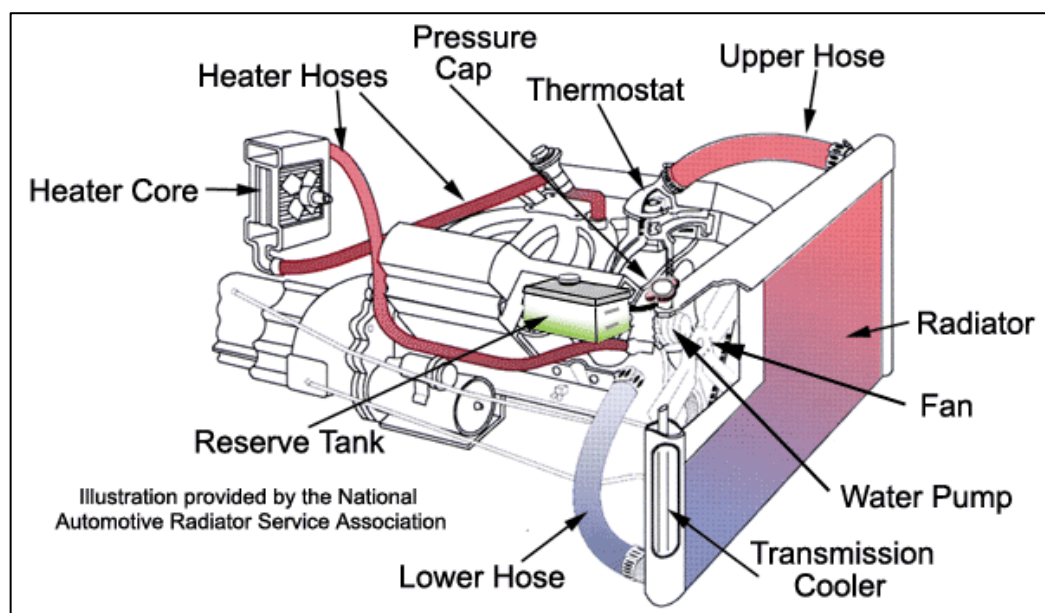


Figura 1.2 : schematizzazione di un sistema di raffreddamento motore a liquido (1)

È quindi possibile, in riferimento alla Figura 1.2, identificare i principali componenti di un circuito di raffreddamento a liquido, di cui si fornisce una breve descrizione relativa alle caratteristiche costruttive e di funzionamento.

Radiatore (radiator)

Il radiatore è il cuore del sistema, è uno scambiatore che realizza lo smaltimento del calore in eccesso contenuto nel fluido di raffreddamento che circola nell'impianto. È costituito da un blocco radiante con tubi in cui circola il liquido e alettature che facilitano lo scambio termico con l'aria esterna, aumentando la superficie di scambio, agli estremi due vasche in materiale plastico raccolgono il liquido da inviare e da estrarre dai collettori del blocco radiante; esistono alcune particolari soluzioni costruttive che prevedono il collocamento, all'interno di una vasca, di scambiatori con caratteristiche peculiari per il raffreddamento di altri fluidi relativi ai componenti meccanici del veicolo, quali gli oli di trasmissione (nella Figura 1.2 identificato come transmission cooler).

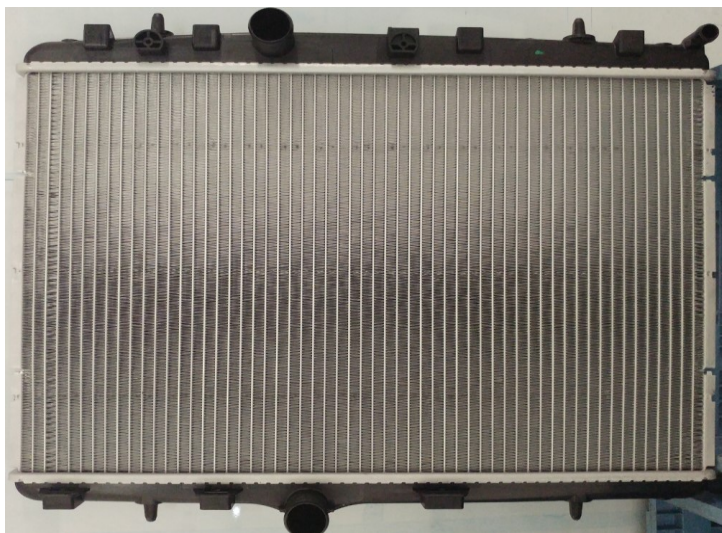


Figura 1.3 : esempio di radiatore per automobili

Pompa del liquido (water pump)

La pompa del liquido di raffreddamento è il componente che pressurizza l'intero circuito; il suo funzionamento è legato a quello del motore, in quanto è portata in rotazione da una cinghia connessa all'albero motore. Questa pompa è generalmente di tipo centrifugo: il fluido in uscita dal radiatore arriva alla pompa attraverso appositi tubi e viene portato, passando attraverso la

girante, a un dato livello di pressione, definito dalla velocità di rotazione del motore. È possibile osservare un esempio di pompa centrifuga del liquido nella Figura 1.4.



Figura 1.4 : esempio di pompa centrifuga per il liquido di raffreddamento motore (1)

[Camicie nel blocco motore](#)

Questi elementi sono delle intercapedini ricavate nel blocco motore intorno ai cilindri e nella testata, di grande importanza perché consentono lo scorrimento del liquido di raffreddamento che controlla la temperatura del motore intorno alle aree maggiormente riscaldate dalla combustione e quindi più critiche; questi passaggi possono essere ricavati direttamente durante la produzione del blocco motore oppure con lavorazioni meccaniche che asportano successivamente il materiale.

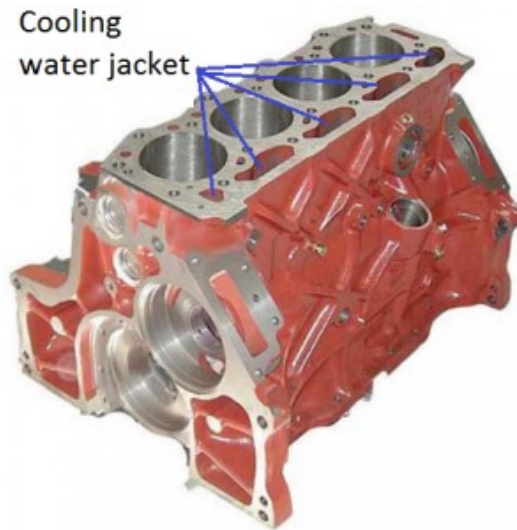


Figura 1.5 : blocco motore con camicie (cooling water jacket)

Termostato (thermostat)

Il termostato (di cui è visibile la struttura nella Figura 1.6) è il componente che permette al motore di raggiungere rapidamente la temperatura ottimale di esercizio, poi di mantenerla costante, agendo sulla portata di liquido che attraversa il radiatore. È quindi una valvola che si chiude a motore freddo, per aprirsi gradualmente quando questo si avvicina alla temperatura ottimale di esercizio.



Figura 1.6 : termostato per il circuito di raffreddamento motore (1)

Per comprendere meglio il ruolo del termostato è possibile fare riferimento alla Figura 1.7: a motore freddo la valvola è chiusa e impone il ricircolo del fluido di raffreddamento all'interno

del motore attraverso un ramo di by-pass, escludendo il passaggio attraverso il radiatore; avvicinandosi alla temperatura ottimale di esercizio, si ha un'apertura graduale del termostato che consente dapprima una circolazione parziale del liquido nel radiatore, che diventa totale al crescere della temperatura, quindi del calore in eccesso da smaltire in ambiente.

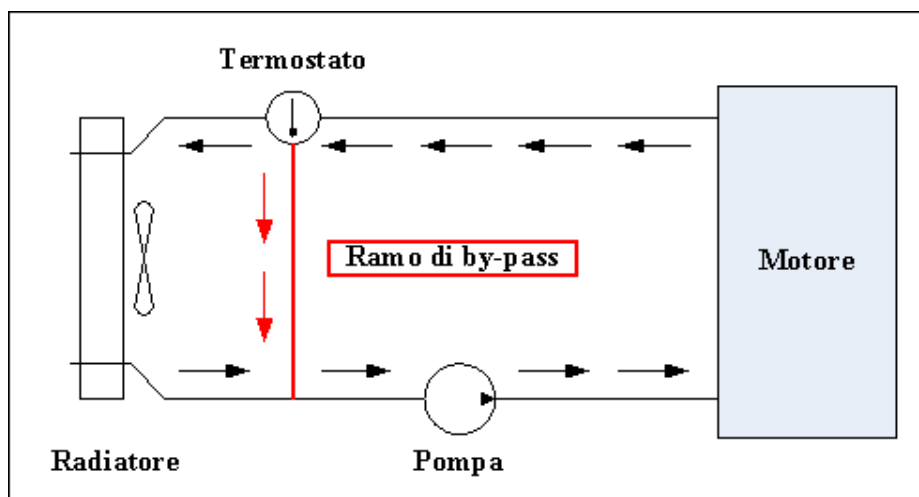


Figura 1.7 : schema del sistema con ramo di by-pass realizzato dal termostato in evidenza

Ventola (fan)

La ventola è un ulteriore componente necessario allo scopo del sistema di raffreddamento motore, in quanto in esercizio si presentano situazioni in cui la semplice circolazione del fluido all'interno del radiatore non è sufficiente, combinata con la velocità di avanzamento del veicolo, a realizzare lo scambio termico che garantisce il mantenimento della temperatura costante del motore; quindi la ventola si attiva quando la temperatura del liquido di raffreddamento raggiunge un determinato livello, per poi disattivarsi quando le condizioni sono tornate ottimali, evitando pericolosi surriscaldamenti.

Nella pratica è possibile notare l'attivazione della ventola dal rumore che provoca, ciò accade ad esempio quando il veicolo è in movimento a bassa velocità o fermo a motore avviato, soprattutto nelle stagioni più calde, in cui lo scambio termico con un ambiente a temperature superiori risulta più difficoltoso.

Esistono attualmente anche soluzioni costruttive con due ventole affiancate, montate in un apposito alloggiamento che previene il contatto con parti in movimento e indirizza l'aria all'attraversamento del radiatore. Le ventole storicamente erano messe in rotazione attraverso una cinghia collegata all'albero motore, si trovavano quindi sempre attive a motore avviato;

attualmente si preferisce invece la movimentazione attraverso motori elettrici dedicati, rendendo possibile un'attivazione secondo necessità, evitando un continuo prelievo di potenza dal motore, se non indispensabile; con entrambe le soluzioni il gruppo ventola è generalmente montato alle spalle del radiatore, nello spazio tra quest'ultimo e il motore.



Figura 1.8 : ventola del sistema di raffreddamento motore in configurazione doppia

Serbatoio e tappo di sicurezza (reserve tank/pressure cap)

Il liquido di raffreddamento tende a espandere al crescere della temperatura, questa espansione provoca un aumento di pressione nel circuito, che entro certi limiti è vantaggioso, in quanto a una crescita di pressione corrisponde una temperatura di ebollizione del fluido superiore; ciò è positivo perché si vuole evitare di avere vapore all'interno del fluido, che peggiorerebbe lo scambio termico e causerebbe problemi di cavitazione alla pompa, che necessita in ogni condizione di liquido per lavorare correttamente. Il serbatoio serve quindi ad avere una capacità che possa compensare le espansioni e contrazioni del volume di fluido di raffreddamento.

Tuttavia, l'aumento di pressione deve essere contenuto entro determinati limiti per evitare danneggiamenti al circuito; nasce quindi l'esigenza di avere un dispositivo di sicurezza, costituito da un tappo con una molla calibrata che consente di scaricare la pressione se vengono raggiunti valori eccessivi di questo parametro, con lo scopo di riportarlo a condizioni normali di funzionamento.



Figura 1.9 : esempio di serbatoio e tappo di sicurezza

Tubi e raccordi (pipes and hoses)

Tubi e raccordi costituiscono gli elementi di collegamento dei vari componenti del circuito di raffreddamento motore; con riferimento alla Figura 1.2 i principali tubi di collegamento sono definiti “tubo superiore” (*upper hose*) e “tubo inferiore” (*lower hose*). Questi due tubi sono di dimensioni considerevoli, in quanto trasferiscono il liquido direttamente dal radiatore al motore e viceversa; tuttavia esistono anche tubi di collegamento più piccoli, come quelli di connessione con la massa radiante (*heater core*), un particolare scambiatore in cui il liquido caldo viene condotto per consentire il riscaldamento dell’abitacolo.

Tubi e raccordi possono essere prodotti con differenti materiali di tipo plastico/gommoso o metallico, a seconda dell’applicazione e delle condizioni di esercizio.

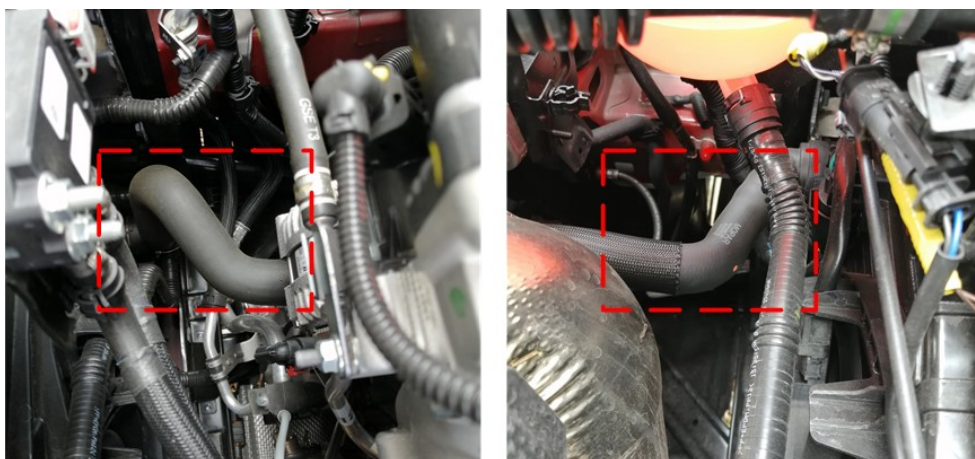


Figura 1.10 : esempio di raccordo inferiore (a sinistra) e superiore (a destra)

Compresi la struttura e il funzionamento del sistema di raffreddamento a liquido, è possibile fare alcune considerazioni sui fluidi utilizzati; il primo liquido sfruttato fu l'acqua, per le sue buone proprietà termofisiche e la grande disponibilità.

L'utilizzo di acqua presenta però due limiti: il primo è una temperatura di solidificazione piuttosto alta di 0 °C, che mette in crisi il funzionamento del sistema a basse temperature; inoltre la solidificazione dell'acqua è accompagnata da un incremento di volume, che poteva arrivare a produrre nei primi sistemi consistenti danneggiamenti dei componenti, dal blocco motore a tubi e radiatore.

Il secondo limite è la temperatura di ebollizione bassa per l'applicazione in esame, di 100 °C; se il fluido arriva a ebollizione, si attiva il sistema di rilascio della pressione che può comportare anche perdite di fluido.

Queste problematiche possono essere eliminate o almeno mitigate con l'utilizzo di una soluzione di acqua e glicole etilenico (tipicamente al 50% in volume), che offre i seguenti vantaggi:

- abbassamento della temperatura di solidificazione;
- al diminuire della temperatura la soluzione non forma cristalli di ghiaccio solido ma tende a diventare semplicemente più viscosa evitando danneggiamento dei componenti;
- innalzamento della temperatura di ebollizione;
- maggiore differenza di temperatura disponibile al radiatore, conseguenza dell'incremento della temperatura di ebollizione.

Per soddisfare le prestazioni richieste dai sistemi moderni, all'utilizzo di una soluzione in sostituzione dell'acqua è stato affiancato anche un incremento della pressione operativa del circuito, con lo scopo di assicurare un ulteriore innalzamento della temperatura di ebollizione che consente di avere una differenza di temperatura ancora più elevata per lo scambio termico nel radiatore. La maggiore pressurizzazione del sistema ha quindi richiesto l'utilizzo del tappo di sicurezza descritto tra i componenti del circuito.

1.2 Il sistema di climatizzazione abitacolo

Un ulteriore sistema che richiede scambiatori di calore è quello che consente la climatizzazione dell'abitacolo dei veicoli, in termini di controllo della temperatura (in riscaldamento e in raffrescamento), dell'umidità e della portata d'aria; infatti questi sono i parametri che vanno correttamente bilanciati per garantire il comfort termico degli occupanti.

Il comfort termico è influenzato da diversi fattori, legati a:

- aspetti fisici della persona quali età, sesso, abbigliamento;
- aspetti psicologici quali visibilità, presenza di rumori o cattivi odori;
- aspetti ambientali, quali stagione, quantità di irraggiamento, temperatura, umidità.

Risulta difficile agire su aspetti di tipo fisico, perché non è possibile conoscere chi occuperà un veicolo a priori e fare una conseguente progettazione, che risulterebbe comunque troppo soggettiva.

È invece possibile andare ad agire su aspetti psicologici, integrando nel sistema di climatizzazione apparati che garantiscano ad esempio una corretta visibilità (sbrinamento e disappannamento), la limitazione dei rumori, la purificazione dell'aria (filtri) e una corretta ventilazione (possibilità di avere un ricambio d'aria piuttosto che un ricircolo); si può inoltre agire sui parametri ambientali, a eccezione dell'irraggiamento, controllando temperatura, umidità e portata d'aria.

I moderni sistemi di climatizzazione sono costituiti da un'unità HVAC (heating ventilation and air conditioning) integrata nell'abitacolo e da componenti nel vano motore che realizzano un ciclo di refrigerazione, che ha lo scopo di fornire fluido refrigerante freddo all'evaporatore dell'unità. Si forniscono quindi alcuni dettagli relativi a questi due sistemi centrali per la corretta climatizzazione dell'abitacolo.

1.2.1 Unità HVAC

L'acronimo HVAC designa un'unità contenente diversi componenti che hanno lo scopo di climatizzare l'abitacolo dei veicoli:

- Massa radiante: è uno scambiatore di calore che realizza il riscaldamento (*heating*) dell'aria che viene mandata in abitacolo; è attraversato dall'aria mentre all'interno dei

tubi scorre il fluido di raffreddamento motore, che risulta caldo perché prelevato a monte della circolazione nel radiatore.

- Ventilatore: è costituito da una girante che forza l'aria all'attraversamento degli scambiatori presenti nell'unità, garantendo la ventilazione (*ventilation*).
- Evaporatore: è uno scambiatore di calore che realizza il condizionamento dell'aria (*air conditioning*); per fare ciò viene attraversato dall'aria, mentre all'interno dei tubi circola un fluido freddo che arriva dal condensatore (attraverso una valvola di espansione) e una volta evaporato viene condotto al compressore (si veda il ciclo di refrigerazione descritto nel paragrafo 1.2.2).
- Filtri: sono collocati a monte del ventilatore e hanno lo scopo di purificare l'aria in ingresso all'unità.

Uno schema della struttura di un'unità HVAC è visibile nella Figura 1.11.

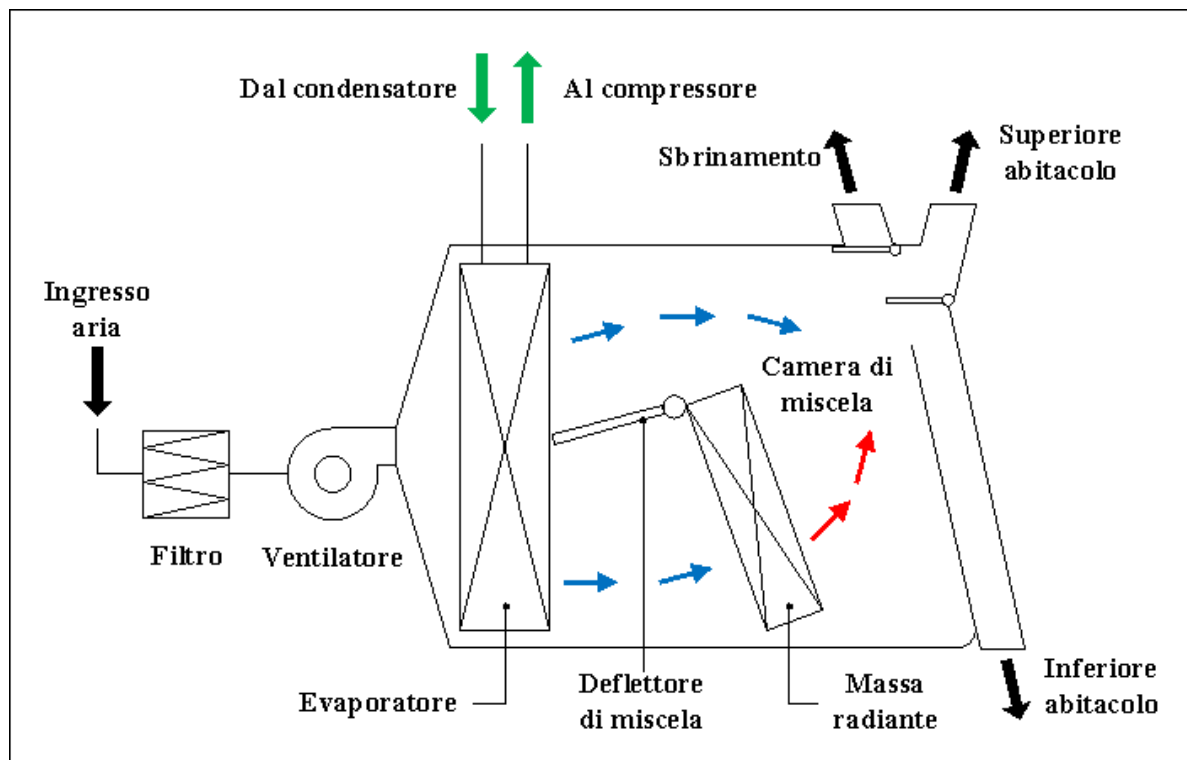


Figura 1.11 : struttura di un'unità HVAC

Una temperatura di comfort per gli occupanti il veicolo può essere raggiunta attraverso un opportuno riscaldamento di almeno una frazione dell'aria raffreddata e deumidificata dall'evaporatore.

Nella Figura 1.11 si può osservare il sistema di controllo della temperatura più comune, detto a miscela d'aria; tuttavia, esistono anche sistemi con riscaldamento totale, in cui tutta l'aria elaborata dall'evaporatore passa anche attraverso la massa radiante; quest'ultimo sistema risulta più compatto, perché non richiede lo spazio che ospita il deflettore e la camera di miscela, e provoca una caduta di pressione minore, ma richiede complessi e accurati sistemi di controllo del fluido caldo che passa nella massa radiante, che ne accrescono notevolmente i costi.

1.2.2 Ciclo di refrigerazione

Il ciclo di refrigerazione è un normale ciclo frigorifero che ha lo scopo di fornire fluido freddo all'evaporatore contenuto all'interno dell'unità HVAC. Viene realizzato attraverso quattro principali componenti:

- Evaporatore: è lo scambiatore di calore contenuto nell'unità HVAC (come visto nel paragrafo 1.2.1) che raffredda e deumidifica l'aria che deve essere mandata in abitacolo.
- Compressore: è collocato nel vano motore e messo in rotazione da una cinghia collegata all'albero motore, attraverso una frizione magnetica che ne permette l'attuazione solo quando venga attivato il climatizzatore, per evitare che sia prelevata potenza se non necessario; effettua la pressurizzazione del fluido in arrivo dall'evaporatore.
- Condensatore: è uno scambiatore di calore collocato nella parte frontale del veicolo, tipicamente davanti al radiatore, in modo che possa ricevere aria più fresca e realizzare la condensazione del fluido pressurizzato dal compressore. È il componente più sollecitato dal punto di vista dello scambio termico, in quanto deve scambiare una quantità di calore pari alla somma di quello assorbito dall'evaporatore e fornito dalla compressione.
- Valvola di laminazione: ha il compito di riportare la pressione dal livello del condensatore a quello dell'evaporatore e di controllare la portata di fluido refrigerante.

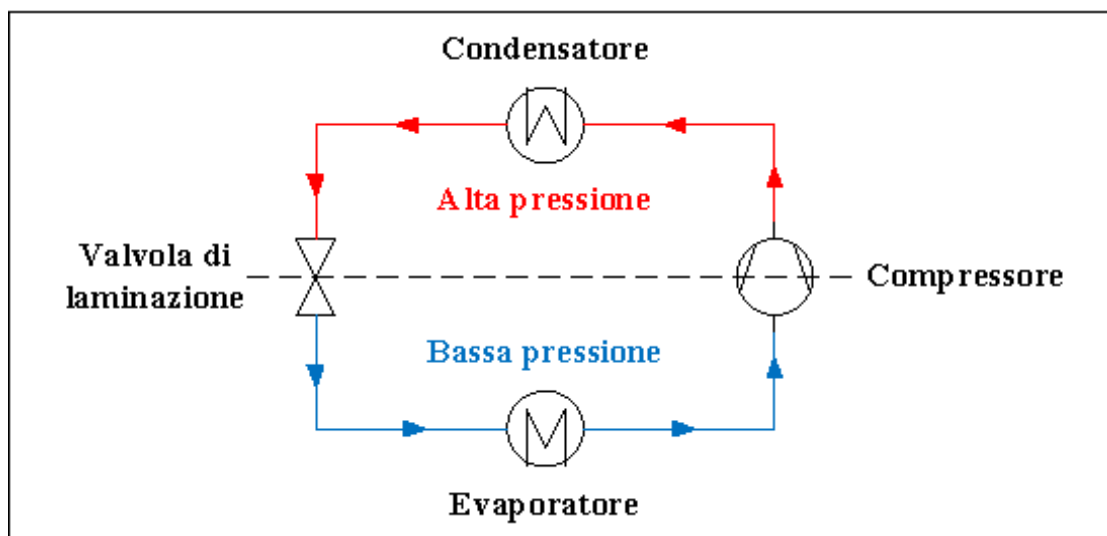


Figura 1.12 : schema del circuito che realizza il ciclo di refrigerazione

Con riferimento alla Figura 1.12 si può comprendere l'evoluzione del fluido refrigerante attraverso i diversi componenti del circuito.

Ipotizzando di iniziare dall'evaporatore, il liquido raffredda l'aria mandata in abitacolo, evaporando; si ha quindi la fase di compressione, che fa passare il fluido da basse ad alte temperature e pressioni. Il condensatore riceve questo fluido surriscaldato e ne provoca la condensazione a elevata pressione, riportandolo allo stato liquido.

Questo fluido non può essere mandato direttamente nell'evaporatore, in quanto si trova ancora a un livello di pressione troppo elevato, quindi è necessaria una fase di laminazione attraverso una valvola che accordi i livelli di pressione delle due sezioni del circuito; inoltre la valvola impone un'atomizzazione del liquido e, controllandone la portata, assicura che all'uscita dell'evaporatore il fluido presenti un adeguato grado di surriscaldamento, che garantisce che il compressore non si trovi a lavorare in presenza di gocce di liquido.

L'intero circuito può quindi essere suddiviso in due "zone" caratteristiche (come si può osservare nella Figura 1.12), una di condensazione a pressione elevata e una di evaporazione a bassa pressione, le cui interfacce sono costituite dal compressore e dalla valvola di laminazione.

1.3 Classificazione degli scambiatori per veicoli

Analizzati i principali sistemi a bordo veicolo che richiedono l'impiego di scambiatori di calore, è possibile fornire alcune classificazioni degli stessi in base ad alcune caratteristiche peculiari:

1. Processo di trasferimento del calore: a contatto diretto o indiretto (schematizzati nella Figura 1.13), in ambito automotive si utilizzano questi ultimi, in cui i fluidi che scambiano calore non vengono in contatto.

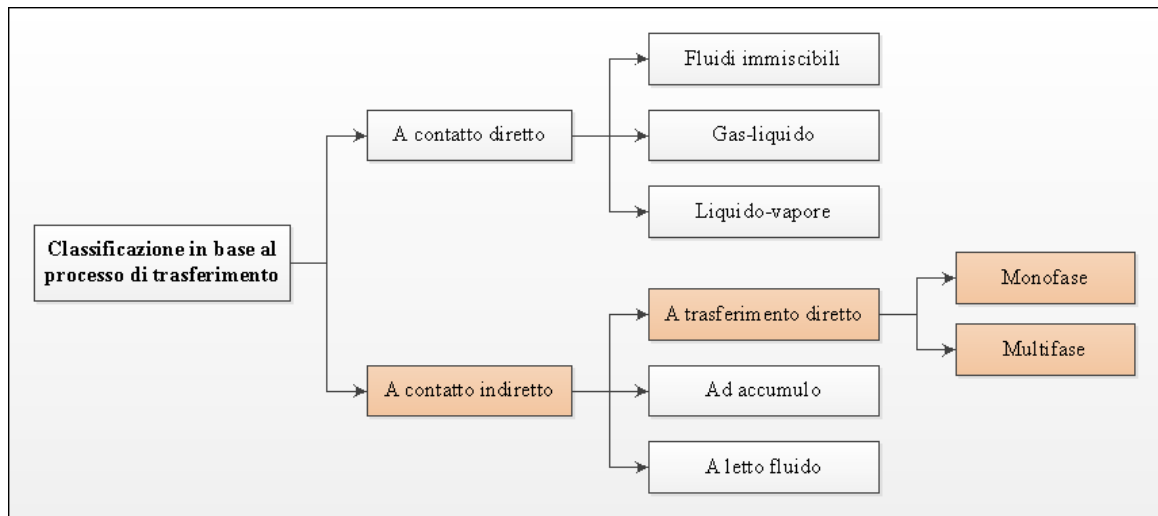


Figura 1.13 : classificazione degli scambiatori in relazione al processo di trasferimento del calore

2. Numero di fluidi: possono essere due, tre, o più fluidi, in campo automotive questo numero è limitato a due fluidi per effettuare gli scambi termici necessari.

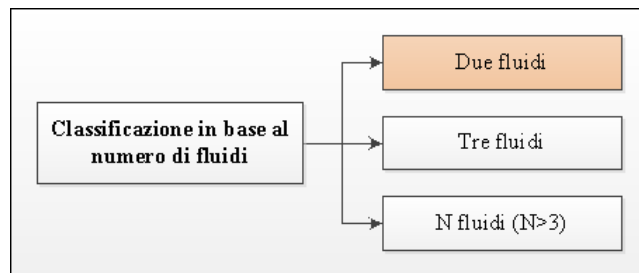


Figura 1.14 : classificazione degli scambiatori in relazione al numero di fluidi che realizzano lo scambio termico

3. Compattezza: questa proprietà è definita come il rapporto tra la superficie di scambio termico disponibile e il volume occupato dallo scambiatore di calore e indicata con il simbolo β ; può quindi essere vista come una densità di superficie di scambio termico.

Nell'ambito dell'industria automotive lo spazio occupato dai vari componenti deve essere ridotto al minimo, ne consegue che in generale si preferisce utilizzare scambiatori compatti, che massimizzano la superficie di scambio termico a fronte di un volume molto limitato. Una classificazione schematica è visibile nella Figura 1.15.

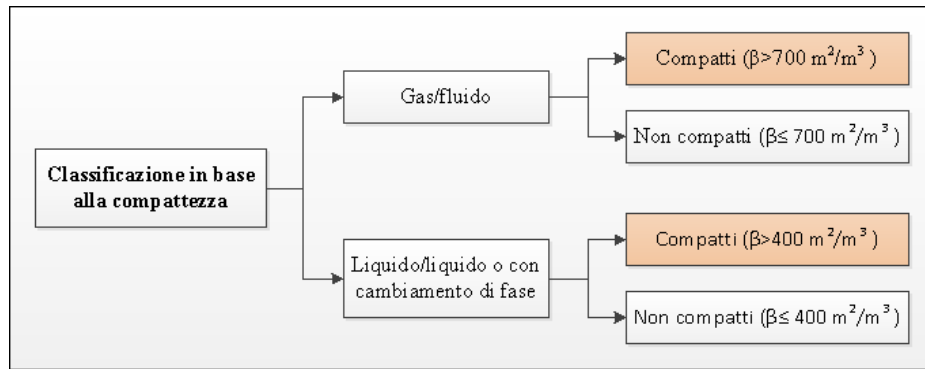


Figura 1.15 : classificazione degli scambiatori in relazione alla compattezza

4. Configurazione di flusso:

- Equi-corrente: i due fluidi entrano da un'estremità dello scambiatore e fluiscono paralleli nella stessa direzione, per uscire entrambi dall'estremità opposta.
- Contro-corrente: i due fluidi entrano da estremità opposte dello scambiatore e fluiscono paralleli ma in direzioni opposte, per uscire su estremità opposte
- A flusso incrociato: i due fluidi hanno direzioni di flusso perpendicolari (ad esempio un fluido scorre dentro a un tubo mentre l'altro fluisce perpendicolarmente all'asse del tubo).

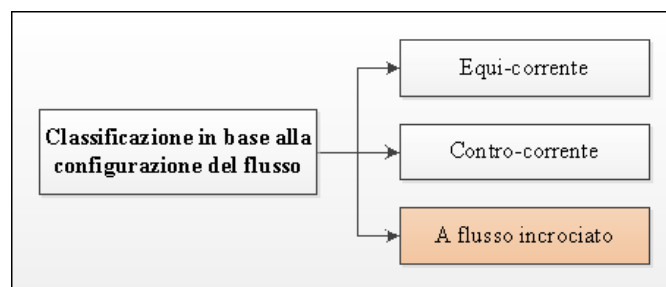


Figura 1.16 : classificazione degli scambiatori in base alla configurazione di flusso

In definitiva, nell'industria automotive, come evidenziato nelle figure relative alle diverse classificazioni, in generale si utilizzano scambiatori compatti, a contatto indiretto, che utilizzano due fluidi in forma monofase o bi-fase e scambiano a flusso incrociato; questi

scambiatori devono poi garantire basse cadute di pressione per non richiedere elevate potenze di pompaggio dei fluidi nei circuiti. Ci sono infine alcuni requisiti legati alla produzione, quali la leggerezza, che consente una minimizzazione dei materiali e contestualmente dei costi, e la possibilità di realizzare produzioni su grandi serie.

È quindi possibile riassumere le diverse tipologie di scambiatori presenti a bordo veicolo:

1. Radiatori, parte del sistema di raffreddamento del motore.
2. Scambiatori per oli idraulici (ad esempio della trasmissione), che possono essere integrati nelle vasche del radiatore oppure indipendenti.
3. Evaporatori e condensatori, che realizzano il circuito di refrigerazione che permette il raffrescamento dell'abitacolo.
4. Masse radianti, che sfruttano il fluido di raffreddamento motore per riscaldare l'abitacolo.
5. Intercooler, che raffredda l'aria che va in camera di combustione dopo la compressione in motori sovralimentati.

L'ordine di grandezza delle principali caratteristiche peculiari dei diversi scambiatori è presentato nella Tabella 1.1.

Tabella 1.1 : ordine di grandezza delle principali caratteristiche di scambiatori nel settore automotive (2)

	Compattezza	Pressione operativa	Temperatura operativa	Peso
	<i>[m²/m³]</i>	<i>[bar]</i>	<i>[°C]</i>	<i>[kg]</i>
Radiatore	1000-1500	1,6-2,5	80-125	1,5-5
Massa radiante	1800-2800	1,6-2,5	80-125	0,5-1,2
Evaporatore	900-1000	3-3,8	3-7	1,2-3,5
Condensatore	950-1300	15-23	75-100	1,2-4
Oil cooler	500-1500	3-10	120-150	0,3-1,5
Intercooler	600-900	20-60	120-200	0,6-3,5

1.4 Il radiatore

“Radiatore” è un termine comunemente utilizzato per identificare in maniera generica gli scambiatori nei veicoli anche se, viste le considerazioni fatte nel paragrafo 1.3, dispositivi con funzioni differenti sono identificati da denominazioni specifiche. Per questo motivo si definisce univocamente come radiatore lo scambiatore di calore dedicato al raffreddamento del liquido motore.

1.4.1 Cenni storici

La nascita del radiatore è strettamente legata allo sviluppo dei motori a combustione interna, in quanto questi manifestarono la necessità di essere raffreddati per evitare surriscaldamenti che avrebbero portato i materiali metallici a una temperatura eccessiva.

Fu presto chiaro che il sistema che garantiva prestazioni migliori di raffreddamento, considerata anche l'evoluzione in termini di potenza dei motori, era quello a liquido, nonostante negli anni siano stati progettati anche efficienti sistemi di raffreddamento ad aria.

In origine i radiatori erano costituiti da due tubi collettori tra cui veniva saldata una batteria di tubi in ottone o rame non alettati; questo sistema era collocato nella parte posteriore dei veicoli, perciò il raffreddamento era basato interamente sulla convezione naturale sul lato aria.

I primi sviluppi portarono allo spostamento del radiatore nelle zone anteriori e laterali dei veicoli, per trarre vantaggio dal moto relativo che si instaura con l'aria, e all'introduzione di superfici secondarie (costituite da alettature saldate su ciascun tubo); in questo modo è stato possibile potenziare lo scambio termico sia in termini di quantità di calore, consentendo uno sviluppo di potenza dei motori, che di efficienza, con conseguente riduzione delle dimensioni del sistema.

In breve tempo si arrivò alla moderna configurazione che presenta una matrice (il blocco radiante) costituita da due collettori tra cui sono collocati i tubi e le superfici secondarie di scambio termico (le alette) e due vasche di raccolta del fluido, fissate sui collettori; inoltre si passò dal rame e ottone a leghe di alluminio per il blocco radiante e a materie plastiche per le vasche, realizzando prodotti più economici e di più facile fabbricazione.

La configurazione del radiatore non è quindi più variata in maniera consistente, i principali sviluppi si sono concentrati sulla comprensione e sul miglioramento dei meccanismi di scambio termico, per consentire una progettazione che garantisca lo scambio della maggior quantità di

calore possibile, portando al limite la compattezza; questo consente di avere sistemi più efficienti e che ottimizzano lo spazio occupato all'interno del vano motore.

Negli ultimi anni lo sviluppo si è focalizzato inoltre sull'utilizzo della gestione elettronica e di diverse configurazioni dell'intero sistema di raffreddamento in un'ottica di riduzione dei consumi e delle emissioni inquinanti.

1.4.2 Componenti

Si fornisce in questa sezione una breve descrizione dei principali componenti di un radiatore per veicoli, costituenti il blocco radiante brasato (collettori, fianchetti, tubi e alette) che viene poi unito alle vasche a formare il radiatore finito.

Collettori e fianchetti

Collettori e fianchetti “delimitano” e contengono la batteria di tubi e alette che realizza lo scambio termico; sono componenti ottenuti attraverso operazioni di punzonatura e deformazione a freddo che verranno descritte nel paragrafo 2.2.

Il collettore presenta una serie di asole allungate in cui verranno inseriti i tubi piatti all'interno dei quali scorre il liquido di raffreddamento, l'accoppiamento tra tubo e asola dovrà risultare a tenuta stagna per evitare perdite in esercizio; inoltre sono presenti delle greche, con un opportuno profilo, adatte a essere ripiegate e chiuse per l'aggraffatura delle vasche. Alle estremità è presente una sede che ospita la linguetta del fianchetto, costituita da un'ulteriore asola oppure un'apposita linguetta esterna al collettore.

I fianchetti sono invece dedicati alla chiusura del pacco di tubi e alette del blocco radiante, sono in contatto sul lato interno con l'ultima aletta e fissati con apposite linguette nelle sedi del collettore.

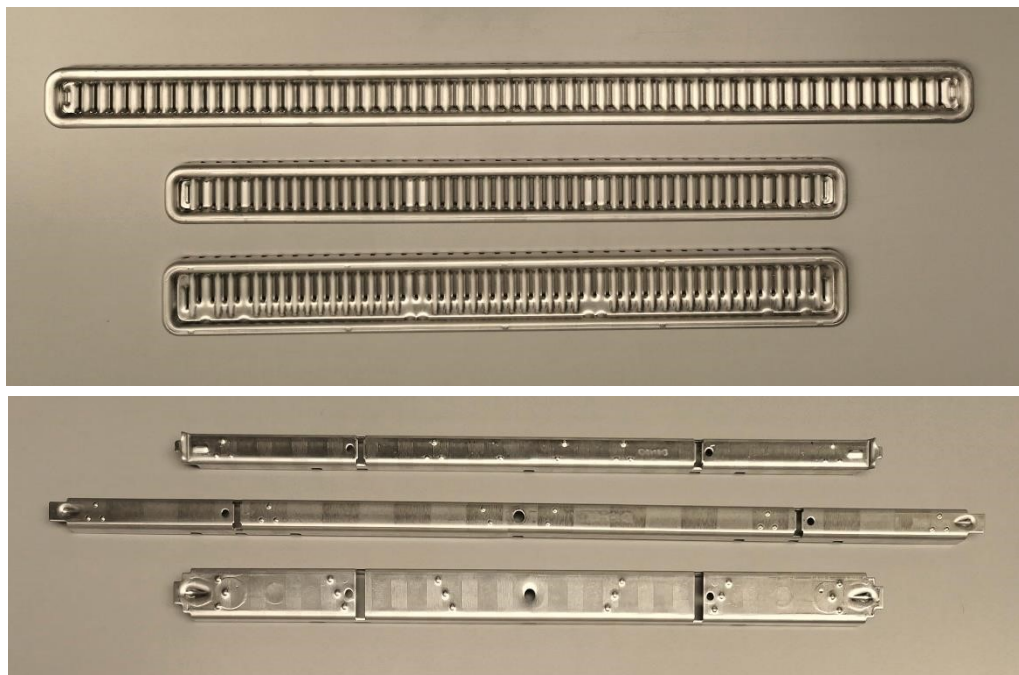


Figura 1.17 : esempio di collettori (sopra) e dei relativi fianchetti (sotto)

Tubi

I tubi costituiscono i condotti al cui interno scorre il liquido di raffreddamento, e si possono distinguere in base alla geometria della sezione trasversale in tondi, ovali e piatti; in passato sono state utilizzate le prime due tipologie di geometria, attualmente invece i tubi utilizzati per la produzione di scambiatori compatti sono piatti.

Le principali caratteristiche geometriche per la produzione di un tubo piatto (riepilogate nella Figura 1.18) sono, relativamente alla posizione che il tubo assume nel blocco radiante:

- L: lunghezza del tubo.
- H: altezza del tubo.
- W: larghezza del tubo
- s: spessore del tubo.
- A_t : sezione trasversale del tubo.

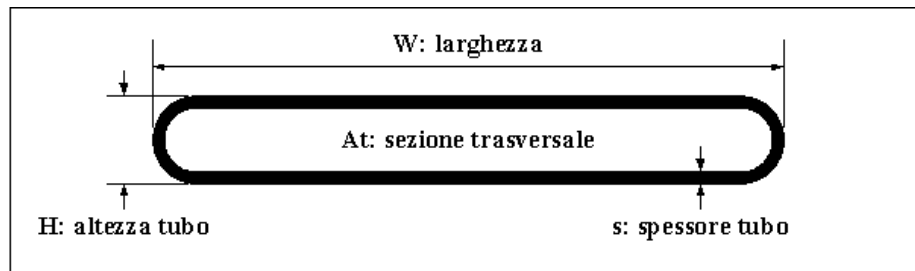


Figura 1.18 : principali caratteristiche geometriche nella sezione trasversale di un tubo piatto semplice

Un'ulteriore classificazione può essere effettuata in base alla tecnica di produzione, si possono quindi ottenere tubi:

- *Estrusi*: l'estrusione è una lavorazione plastica che consiste nel forzare un materiale a passare attraverso una matrice che ha una forma determinata; può essere effettuata riscaldando il materiale per assicurarne la massima plasticità secondo due tecniche, quella diretta, in cui il materiale viene introdotto in un cilindro e forzato da una pressa idraulica a scorrere nella matrice, e quella inversa, in cui un pistone tubolare obbliga il metallo plastico a rifluire attraverso la filiera posta alla sua estremità. Un'ulteriore tecnica è quella dell'estrusione a urto, effettuata a freddo e utile per produrre sezioni tubolari molto sottili (3).
- *Saldo-brasati*: sono ottenuti a partire da un nastro di lega di alluminio placcato che viene ripiegato, sagomato e poi saldo-brasato nella zona di chiusura; le operazioni vengono effettuate in diverse fasi da una singola macchina, che restituisce il tubo pronto per l'assemblaggio, senza ulteriori operazioni.
- *Folded (tubi "chiusi")*: anche questi tubi vengono prodotti a partire da un nastro di lega di alluminio placcato che viene opportunamente ripiegato e sagomato da una macchina, ma la saldatura avviene attraverso il processo di brasatura in forno del blocco radiante.

Con la tecnica di estrusione è possibile realizzare tutte le geometrie a livello di sezione trasversale. I tubi estrusi e folded possono presentare geometrie più complesse rispetto a quelli saldo-brasati, in particolare consentono di realizzare tubi *multiport*, ovvero che presentano all'interno più canali di passaggio del fluido.

I tubi saldo-brasati vengono chiusi soltanto su un lato, mentre i tubi folded nel processo di brasatura vengono saldati in più punti diversi, data la loro struttura; ne consegue che questi ultimi presentano caratteristiche meccaniche migliori, quindi una maggior resistenza alla pressione. Le migliori caratteristiche meccaniche sono però garantite dai tubi multiport estrusi.

In base alle caratteristiche dei tubi ottenuti con i diversi processi, in generale per radiatori e masse radianti vengono utilizzati tubi piatti semplici o eventualmente folded, mentre per condensatori e intercooler, che presentano pressioni di esercizio notevolmente più elevate, si utilizzano tubi multiport estrusi.

Particolari tubi utilizzati negli odierni radiatori prevedono la presenza di “*dimple*”, avvallamenti sulla superficie del tubo che consentono di interrompere lo strato limite, aumentando la turbolenza, quindi favorendo lo scambio termico.



Figura 1.19 : esempio di tubi piatti folded con dimple (4)

Alette

Le alette costituiscono le superfici secondarie di scambio termico, incrementando la superficie dei soli tubi e rendendo più efficiente il trasferimento di calore; ricoprono inoltre una funzione strutturale nel blocco radiante, con collettori, fianchetti e tubi. I materiali di cui sono costituite sono leghe di alluminio a basso spessore, con lo scopo di ottenere una limitata inerzia termica. In generale esistono diverse tipologie di alette, osservabili nella Figura 1.20.



Figura 1.20 : tipologie di alette (5)

Di interesse per gli scambiatori in ambito automotive sono le alette corrugate con persiane (*louver*), ossia aperture ricavate tra le onde dell'aletta che hanno lo scopo di interrompere

l'evoluzione dello strato limite, generando turbolenza e quindi incrementando lo scambio termico.

L'aletta corrugata è così definita perché è costituita da una serie di onde, unità elementari che definiscono le caratteristiche geometriche dell'intera aletta, osservabili nella Figura 1.21.

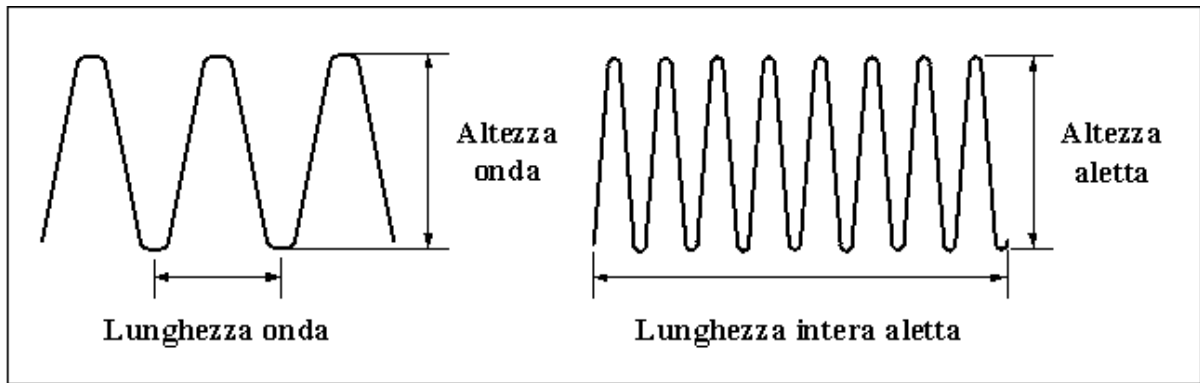


Figura 1.21 : caratteristiche geometriche di base dell'onda e dell'aletta

La lunghezza dell'onda determina la densità dell'aletta, ossia il numero di onde per unità di lunghezza; la lunghezza dell'aletta è quindi somma delle lunghezze delle singole onde, mentre l'altezza dell'aletta è valutabile come media delle altezze delle singole onde.

Durante la produzione dell'aletta corrugata vengono poi ricavate delle persiane, aperture che hanno delle lunghezze caratteristiche e sono ricavate in due gruppi lungo la direzione longitudinale dell'aletta, a ottenere un'aletta corrugata “*multilouvered*”.

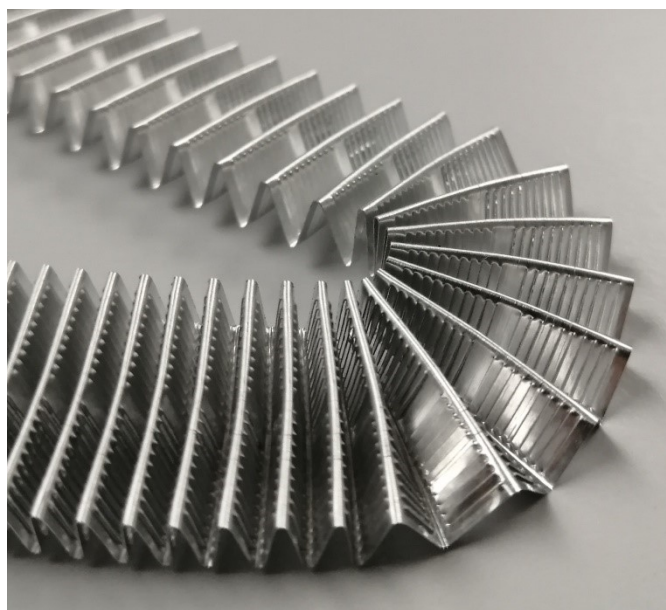


Figura 1.22 : dettaglio di aletta con due gruppi di persiane (multilouvered fin)

Vasche

Le vasche che raccolgono il fluido all'ingresso e all'uscita del radiatore sono in materiale plastico. Negli scambiatori di calore per veicoli vengono utilizzate anche vasche metalliche costituite dalle stesse leghe di alluminio con cui si fabbricano collettori e fianchetti, ma queste hanno un impiego limitato alla produzione di masse radianti.

Per ottenere delle vasche in materiale plastico si utilizza lo stampaggio a iniezione, una tecnologia che consente di ottenere prodotti con forme e dimensioni, quindi pesi, molto differenti; questa consiste nella fusione di un materiale termoplastico che poi viene forzato all'interno di uno stampo, dove solidifica assumendone la forma. Il processo avviene all'interno di presse idrauliche, che garantiscono il calore (le temperature di processo sono comprese tra 150 e 170 °C per i più comuni materiali termoplastici) e la pressione necessari al corretto flusso del materiale, sulle quali viene montato lo stampo utile alla fabbricazione del componente; le presse realizzano un ciclo che si svolge in tre fasi: caricamento della corretta quantità di materiale in macchina, fusione, iniezione a una determinata velocità, mantenimento sotto pressione per compensare l'aumento di densità durante il raffreddamento del pezzo stampato. La tecnica di produzione per stampaggio a iniezione offre diversi vantaggi: consente di produrre particolari che non necessitano di ulteriori lavorazioni e la realizzazione di geometrie anche complesse con elevata produttività e bassi costi di produzione (3).



Figura 1.23 : esempio di odierne vasche per radiatori

1.4.3 Tecniche di assemblaggio

È possibile classificare i radiatori in due principali famiglie in relazione alle tecniche produttive:

- *Radiatori mandrinati*: in questa tipologia di scambiatore le alette e i tubi sono prodotti separatamente e poi compressi gli uni contro gli altri, quindi questa tecnica produttiva si basa sulla deformazione meccanica dei componenti.
- *Radiatori brasati*: vengono prodotti separatamente i componenti (collettori, fianchetti, tubi e alette) e si realizza l'assemblaggio del blocco radiante, che viene poi processato in appositi forni di brasatura, che rendono solidali attraverso una saldatura continua tutte le parti.

La realizzazione attraverso la brasatura assicura prestazioni migliori di scambio termico, soprattutto perché il legame tra tubi e alette garantito dal processo è ottimale, ma presenta costi maggiori rispetto alla produzione di scambiatori mandrinati. Comunque, considerate le prestazioni che oggi devono garantire i radiatori in termini di potenza da scambiare e di efficienza dello scambio termico si preferisce effettuare la produzione per brasatura.

Nella Figura 1.24 è possibile osservare le due tipologie di radiatore risultanti dalle diverse tecniche produttive.

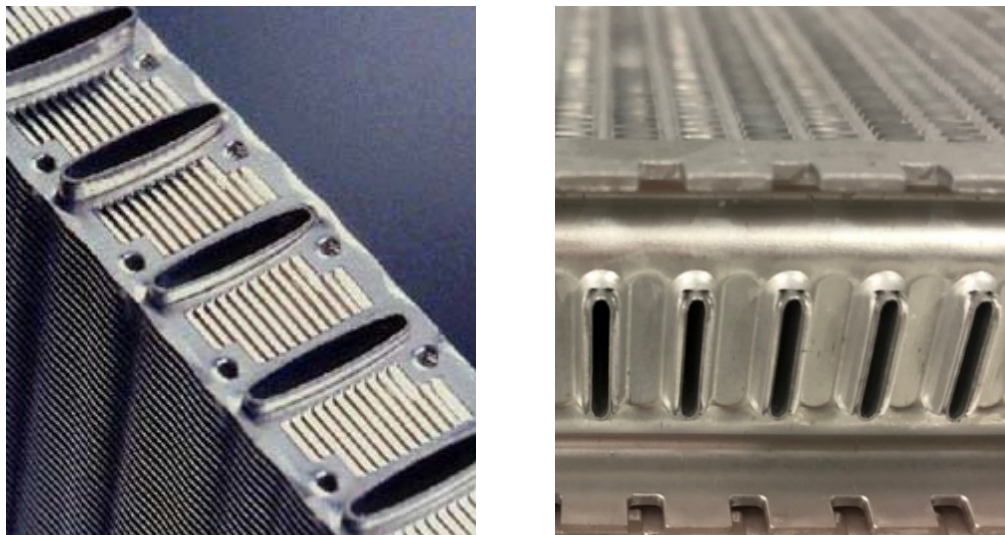


Figura 1.24 : particolari di un radiatore mandrinato (a sinistra) (6) e brasato (a destra)

1.4.4 Configurazioni del radiatore

Un radiatore può assumere due diverse configurazioni, visibili nella Figura 1.25, in base alla direzione del flusso del liquido di raffreddamento e conseguentemente della posizione delle vasche di raccolta:

- *Downflow*: il fluido scorre dall'alto verso il basso mentre si raffredda e le vasche di raccolta sono quindi in posizione superiore e inferiore nel radiatore.

Tra i vantaggi di questa soluzione si ha flessibilità nella scelta del posizionamento degli ingressi e uscite del fluido dalle vasche, una maggior facilità di posizionamento del corpo ventola che viene fissato sulle vasche, con ridotte sollecitazioni perché i fissaggi risultano più vicini e si generano quindi momenti minori, conseguenza dei bracci minori; inoltre, la configurazione del flusso provoca più limitate cadute di pressione del fluido di raffreddamento.

Tra gli svantaggi si rileva un maggior numero di parti da assemblare (in particolare più tubi e alette, che risultano più corti a parità di superficie) che causano tempi superiori di assemblaggio e incremento dei costi in termini di materiali, poca flessibilità nella variazione della larghezza del blocco radiante, che richiede pesanti modifiche a vasche, collettori e guarnizioni; inoltre le vasche più lunghe provocano una distribuzione non uniforme del fluido di raffreddamento, soprattutto a bassi regimi di flusso.

- *Crossflow*: il flusso è orizzontale nel blocco radiante tra le due vasche che sono collocate in posizione laterale nel radiatore.

Tra i vantaggi di questa soluzione si ha un minor numero di parti, quindi minori costi di materiale e tempi di assemblaggio, uniti a una maggiore flessibilità sulla larghezza del radiatore (che richiede la sola variazione della lunghezza di taglio di tubi, alette e fianchetti); inoltre, avendo vasche più corte, questa tipologia di radiatore a parità di superficie richiede un minor volume di fluido di raffreddamento.

Tra gli svantaggi si hanno una maggiore caduta di pressione del fluido di raffreddamento, maggiori criticità nelle fasi di brasatura a causa delle lunghezze superiori di tubi e alette; inoltre risulta più critico dal punto di vista dell'accuratezza richiesta nel posizionamento all'interno del vano motore e, considerate le dimensioni superiori a parità di potenza, si rilevano difficoltà nell'utilizzo su veicoli che subiscano modifiche a livello di motore e richiedano la sostituzione dell'impianto di raffreddamento.

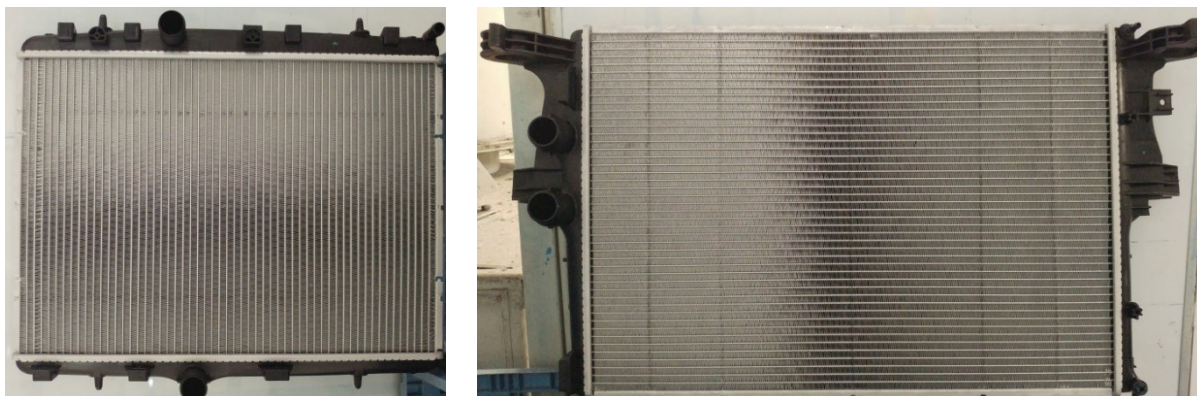


Figura 1.25 : configurazione downflow (a destra) e crossflow (a sinistra)

1.5 Meccanismi di scambio termico e dimensionamento degli scambiatori

Il calore può essere definito come energia termica che viene trasferita attraverso un gradiente spaziale di temperatura (7). Ogni volta che in un mezzo o tra mezzi diversi sia presente una differenza di temperatura, si genera un processo di trasferimento di calore.

I meccanismi di scambio termico (schematizzati nella Figura 1.26) possono essere classificati secondo tre diverse tipologie (7):

- *Conduzione*: è un processo di trasferimento di calore che avviene all'interno di un mezzo stazionario, sia questo un solido o un liquido.
- *Convezione*: è un processo di trasferimento di calore che coinvolge un fluido in moto che lambisce una superficie che si trova a differente temperatura.
- *Irraggiamento*: è l'emissione di onde elettromagnetiche che caratterizza qualsiasi corpo che presenti una temperatura finita; tra due superfici a temperatura diversa e a distanza finita, in assenza di un mezzo interposto, si instaura un trasferimento netto di calore per irraggiamento.

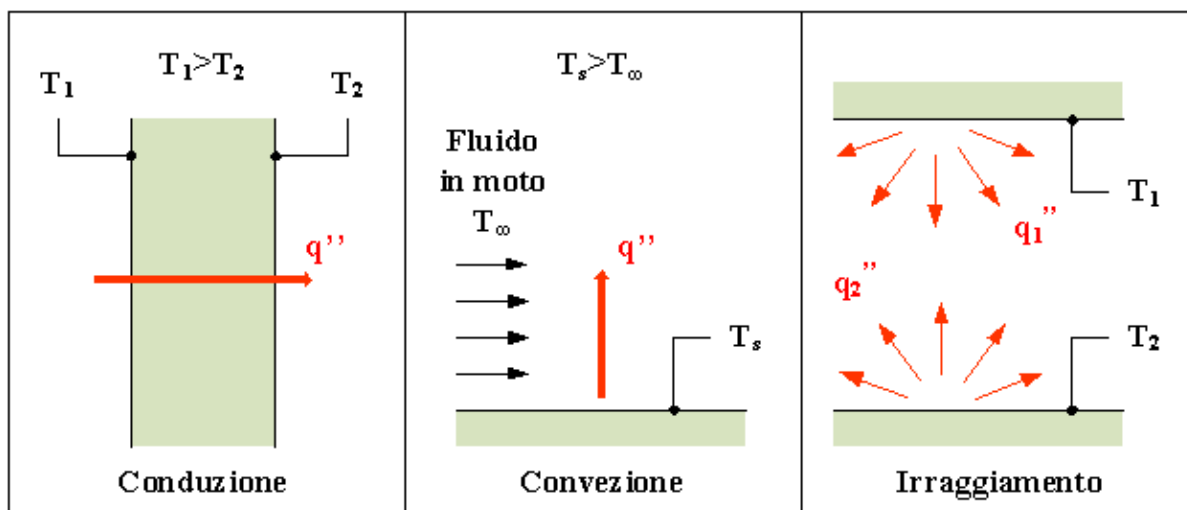


Figura 1.26 : schema dei tre principali meccanismi di scambio termico

In riferimento alla Figura 1.26, non essendo definite le dimensioni della superficie, si esprime il calore in forma di flusso (q''), quindi come potenza per unità di superficie (7).

Per quanto concerne gli scambiatori per veicoli, considerato il sistema e le temperature in esercizio, il contributo al trasferimento di calore dell'irraggiamento risulta trascurabile, si forniscono quindi alcuni dettagli sui fenomeni fisici e sulle leggi che regolano i meccanismi di scambio termico di conduzione e convezione.

Conduzione

A livello fisico la conduzione è legata a meccanismi che avvengono a livello microscopico, è caratterizzata quindi da un trasferimento di calore per diffusione di energia dovuta all'agitazione molecolare.

L'equazione di riferimento per la conduzione è la legge di Fourier, che sotto l'ipotesi di caso mono-dimensionale può essere espressa nella forma:

$$q''_x = -k \frac{dT}{dx}$$

- q''_x : flusso di calore per unità di superficie perpendicolare alla direzione di trasferimento x (misurato quindi in W/m^2);
- $\frac{dT}{dx}$: gradiente di temperatura nel materiale relativo alla direzione x ;

- k : conducibilità termica, è una proprietà del materiale (misurata in $W/m \cdot K$) che identifica la capacità di questo di trasferire potenza termica per metro di materiale e per grado di temperatura.

In condizioni stazionarie, quindi con gradiente di temperatura lineare, è possibile ricavare un'espressione chiusa per la potenza termica trasferita per conduzione:

$$q_{x,conduzione} = \frac{kA}{L}(T_c - T_f)$$

- q_x : potenza termica scambiata per conduzione lungo la direzione x ;
- A : superficie perpendicolare alla direzione x lungo cui avviene lo scambio termico;
- L : spessore dello strato di materiale in cui si ha conduzione;
- T_c : temperatura della superficie sul lato “caldo”;
- T_f : temperatura della superficie sul lato “freddo”.

Convezione

La convezione è frutto di due diverse modalità di trasferimento di energia: la prima di tipo diffusivo, analogamente alla conduzione, la seconda di tipo avvevivo, ossia legata al moto macroscopico del fluido che lambisce una superficie. Inoltre, la convezione può essere forzata, se è indotta da un mezzo esterno, oppure naturale, quando è causata da differenze di densità dovute a gradienti di temperatura nel fluido.

Importante nello studio della convezione è il concetto di strato limite: si instaurano delle differenze di velocità e temperatura, allontanandosi dalla superficie lungo cui avviene lo scambio; in particolare la velocità del fluido in prossimità della superficie tende a zero, mentre allontanandosi diventa quella caratteristica della corrente di fluido. Un fenomeno analogo si verifica qualitativamente per lo strato limite di temperatura, che può presentare un profilo analogo a quello di velocità o meno.

L'equazione di riferimento per la convezione è la legge di Newton del raffreddamento:

$$q = hA(T_s - T_\infty)$$

- q : potenza termica scambiata per convezione tra la superficie e il fluido;
- A : superficie lungo cui avviene lo scambio termico;

- T_s : temperatura della superficie;
- T_∞ : temperatura del fluido;
- h : coefficiente medio di scambio termico convettivo (in $W/m^2 \cdot K$).

Tutti i problemi relativi alla convezione si riconducono in definitiva alla corretta determinazione del coefficiente di scambio termico convettivo, che dipende dalla configurazione dello strato limite, la quale è legata alla geometria della superficie, alla natura del fluido in moto e a una serie di proprietà termodinamiche e di trasporto del fluido (7).

Per quanto concerne gli scambiatori è utile definire un unico parametro che tenga conto di conduzione e convezione, il coefficiente globale di scambio termico U ; si consideri un tipico caso, rappresentato nella Figura 1.27, di convezione su due lati di una superficie in cui ci sia conduzione (fluido che scorre in un tubo raffreddato da un fluido sulla superficie esterna).

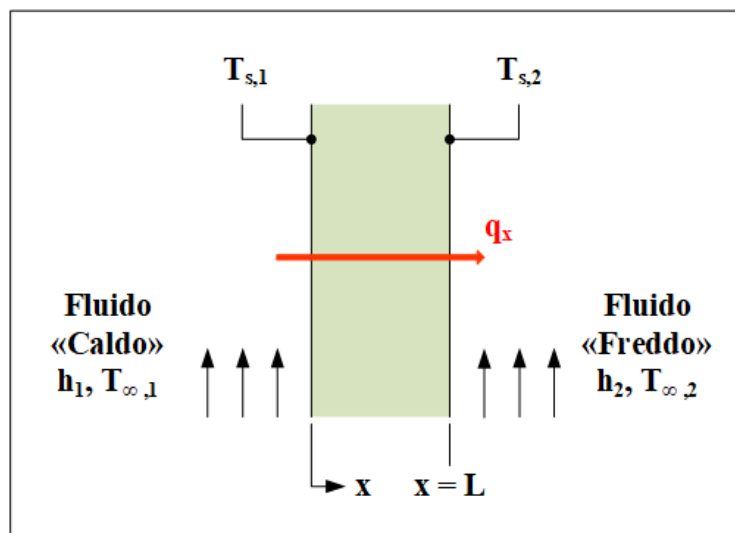


Figura 1.27 : conduzione in un mezzo e convezione sui due lati

Il coefficiente globale di scambio termico può essere espresso in funzione delle proprietà analizzate per la conduzione e la convezione con la relazione:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

È quindi possibile esprimere la potenza termica trasferita come:

$$q = UA\Delta T$$

dove ΔT è la differenza di temperatura tra i due fluidi che lambiscono la superficie.

Fatte queste premesse relative ai meccanismi di scambio termico è utile comprendere le due principali metodologie di dimensionamento degli scambiatori di calore, quello della differenza media logaritmica e il metodo ε -NTU.

1.5.1 Metodo della differenza di temperatura media logaritmica

A partire dall'espressione della potenza termica scambiata occorre quindi determinare un'opportuna differenza di temperatura da utilizzare, in quanto in diversi punti di uno scambiatore si rilevano differenze di temperatura diverse. Un primo approccio consiste nell'utilizzo della differenza di temperatura media logaritmica:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)}$$

I pedici 1 e 2 si riferiscono a lati opposti dello scambiatore. È quindi necessario distinguere le due differenze di temperatura in base alla configurazione:

- *Equi-corrente*: i due fluidi entrano sullo stesso lato ed escono entrambi sul lato opposto; i pedici 1 e 2 fanno quindi riferimento alle condizioni di ingresso di entrambi i fluidi e il pedice 2 alle relative condizioni di uscita. Le differenze di temperatura risultano quindi essere:

$$\begin{cases} \Delta T_1 = T_{c,in} - T_{f,in} \\ \Delta T_2 = T_{c,out} - T_{f,out} \end{cases}$$

- *Contro-corrente*: i fluidi entrano ed escono su lati opposti dello scambiatore; il pedice 1 fa quindi riferimento alle condizioni di ingresso del fluido caldo e a quelle di uscita del fluido freddo, mentre il pedice 2 è relativo alle condizioni di uscita del fluido caldo e a quelle di ingresso del fluido freddo. Le differenze di temperatura risultano quindi essere:

$$\begin{cases} \Delta T_1 = T_{c,in} - T_{f,out} \\ \Delta T_2 = T_{c,out} - T_{f,in} \end{cases}$$

Il metodo della differenza di temperatura media logaritmica è utile per il dimensionamento di scambiatori quando siano note le temperature di ingresso e uscita dei due fluidi e le relative

portate, è possibile quindi determinare la superficie di scambio termico necessaria a partire dalla potenza da trasferire.

Se al contrario sono note soltanto le temperature dei fluidi in ingresso l'utilizzo di questo metodo impone l'utilizzo di una procedura iterativa, è dunque preferibile l'utilizzo del metodo ε -NTU.

1.5.2 Metodo ε -NTU

Il metodo ε -NTU si basa sul legame tra i due parametri adimensionali di efficienza (ε) e di *number of transfer units* (NTU).

La definizione dell'efficienza mette in rapporto la reale potenza scambiabile con la massima potenza teoricamente scambiabile in uno scambiatore ideale, quindi di superficie infinita e in controcorrente:

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{MAX}}$$

L'efficienza dello scambio termico è quindi un parametro adimensionale compreso tra 0 e 1.

La potenza massima è valutata come:

$$q_{MAX} = C_{min}(T_{c,in} - T_{f,in})$$

$$C_{min} = \min(C_c, C_f)$$

$$\begin{cases} C_c = \dot{m}_c c_{p,c} \\ C_f = \dot{m}_f c_{p,f} \end{cases}$$

- $T_{c,in}$: temperatura del fluido caldo all'ingresso dello scambiatore;
- $T_{f,in}$: temperatura del fluido freddo all'ingresso dello scambiatore;
- C_c e C_f : capacità termiche di flusso relative rispettivamente al fluido caldo e a quello freddo, ottenute come prodotto della portata del fluido per il corrispondente calore specifico, quindi misurate in W/K .

L'altro parametro adimensionale utilizzato in questa metodologia di dimensionamento è NTU (number of transfer units) che può essere valutato come:

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}}$$

in cui U è il coefficiente globale di scambio termico e A la superficie dello scambiatore.

Nella pratica nel dimensionamento degli scambiatori di calore si considera che NTU è funzione dell'efficienza e del rapporto tra le capacità termiche di flusso:

$$NTU = f\left(\varepsilon, \frac{C_{min}}{C_{MAX}}\right)$$

Sono state ricavate diverse espressioni algebriche di NTU in base alla tipologia di scambiatore e di configurazione del flusso, osservabili nella Figura 1.28, in cui con C_r si identifica il rapporto tra le capacità termiche di flusso.

Flow Arrangement	Relation	
Parallel flo	$NTU = -\frac{\ln[1 - \varepsilon(1 + C_r)]}{1 + C_r}$	(11.28b)
Counterflo	$NTU = \frac{1}{C_r - 1} \ln\left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon C_r - 1}\right)$	$(C_r < 1)$
	$NTU = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}$	$(C_r = 1)$ (11.29b)
Shell-and-tube		
One shell pass (2, 4, ... tube passes)	$(NTU)_1 = -(1 + C_r^2)^{-1/2} \ln\left(\frac{E - 1}{E + 1}\right)$	(11.30b)
	$E = \frac{2/\varepsilon_1 - (1 + C_r)}{(1 + C_r^2)^{1/2}}$	(11.30c)
n shell passes (2n, 4n, ... tube passes)	Use Equations 11.30b and 11.30c with $\varepsilon_1 = \frac{F - 1}{F - C_r}$ $F = \left(\frac{\varepsilon C_r - 1}{\varepsilon - 1}\right)^{1/n}$ $NTU = n(NTU)_1$	(11.31b, c, d)
Cross-flow (single pass)		
C_{max} (mixed), C_{min} (unmixed)	$NTU = -\ln\left[1 + \left(\frac{1}{C_r}\right) \ln(1 - \varepsilon C_r)\right]$	(11.33b)
C_{min} (mixed), C_{max} (unmixed)	$NTU = -\left(\frac{1}{C_r}\right) \ln[C_r \ln(1 - \varepsilon) + 1]$	(11.34b)
All exchangers ($C_r = 0$)	$NTU = -\ln(1 - \varepsilon)$	(11.35b)

Figura 1.28 : Relazioni tra NTU , ε e C_r (7)

Le relazioni sono fornite anche sotto forma di curve al variare di C_{min}/C_{MAX} in un piano $NTU - \varepsilon$, di cui si fornisce un esempio nella Figura 1.29.

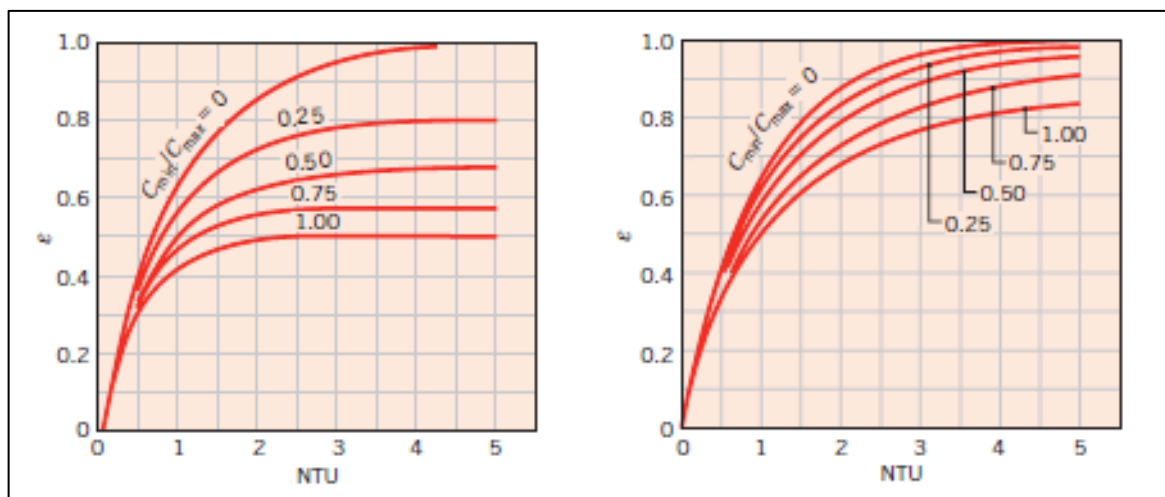


Figura 1.29 : esempio di curve per uno scambiatore equi-corrente (a sinistra) e controcorrente (a destra) (7)

2 Il processo di produzione dei radiatori

Questo capitolo prende in analisi il processo di produzione dei radiatori automotive, a partire dalle materie prime e dalla trasformazione in semilavorati, che sono poi assemblati per andare a comporre il blocco radiante, costituito da collettori, fianchetti, tubi e alette, su cui possono poi essere aggraffate le vasche con apposite guarnizioni ed eventuali componenti accessori, per ottenere un radiatore completo.

Per quanto concerne la produzione dei componenti semilavorati le fasi di interesse sono:

- produzione dei tubi per saldo-brasatura nelle tube mill;
- produzione per stampaggio dei collettori e dei fianchetti attraverso presse idrauliche;
- produzione delle alette con alettatrici a bordo delle macchine di assemblaggio.

Successivamente si hanno delle fasi volte a ottenere il blocco radiante ed eventualmente il radiatore finito:

- assemblaggio del pacco costituito da tubi e alette con inserimento di collettori e fianchetti e staffatura che consente di tenere compatto il blocco radiante;
- processo di preparazione e brasatura in forno;
- collaudo ad aria o elio per verificare la tenuta del blocco radiante;
- eventuale aggraffatura e finitura per ottenere il radiatore finito.

Nei paragrafi che seguono vengono forniti ulteriori dettagli relativamente ad ognuna delle fasi del processo di produzione.

2.1 La produzione dei tubi

La produzione dei tubi viene effettuata in apposite macchine automatiche chiamate tube mill. Il processo comincia con il carico su queste macchine di grandi bobine di nastro in alluminio (comunemente chiamate *coil*), di spessore e larghezza diversa a seconda della tipologia di tubo da realizzare.

Dei grandi devolgtori accompagnano il nastro all'ingresso della macchina a una velocità di avanzamento variabile a seconda dei parametri richiesti dalla lavorazione. Si identificano quindi cinque principali fasi che portano alla formatura del tubo con il corretto profilo:

- a. piegatura del nastro in alluminio a richiudere il tubo;
- b. saldo-brasatura che consente di sigillare il tubo e renderlo a tenuta stagna;
- c. scordonatura che va a rifinire la superficie di saldatura;
- d. formatura del tubo con l'obiettivo di conferirgli le caratteristiche geometriche previste;
- e. taglio del tubo alla lunghezza prevista per il modello in produzione.

Il tubo formato viene depositato in apposite tramogge, da cui viene prelevato in mazzi, che vengono quindi fascettati in modo manuale o automatico in una sezione dedicata della macchina. I mazzi così formati vengono depositati manualmente o attraverso appositi robot a portale su carrelli di dimensioni standard, che verranno utilizzati sulle successive macchine assemblatrici. A seconda che il prelievo da questi carrelli venga effettuato manualmente o automaticamente può essere richiesto un criterio di riempimento del carrello ben determinato, in termini di altezza, numerosità dei mazzi caricati, disposizione delle pile di mazzi.

I carrelli vengono poi stoccati in un buffer dedicato, dove rimangono fino al prelievo da parte degli alimentatori delle macchine assemblatrici; ciò consente di accordare il processo di produzione dei tubi con quello di assemblaggio, e di andare a ridurre i cambi di modello sulle tube mill, che possono lavorare su circa venti tipologie di tubo diverse.

Una tipologia di collocazione dei tubi prodotti, alternativa ai classici carrelli, è quella in stacker, un carrello in cui i tubi vengono depositati in una struttura impilati verticalmente in apposite scanalature per essere prelevati automaticamente da alcune macchine di assemblaggio; il deposito dei tubi viene effettuato attraverso un robot a portale dedicato che può scaricare alternativamente su due baie, in modo che il processo possa essere continuo. Questo tipo di soluzione è però limitata a una sola tube mill, dedicata a un'unica tipologia di tubo, specifica per due macchine di assemblaggio automatiche che sono predisposte per il prelievo dei tubi direttamente dagli stacker.



Figura 2.1 : esempio di macchina tube mill

2.2 La produzione dei collettori e dei fianchetti

I collettori e i fianchetti, componenti in alluminio del blocco radiante insieme a tubi e alette, vengono prodotti attraverso una lavorazione a freddo, a partire da bobine di lamiera, che consiste nella punzonatura e deformazione a freddo del materiale, che in più fasi viene tranciato e piegato fino a conferirgli la forma e le quote a disegno.

La punzonatura, detta anche tranciatura, è una lavorazione in cui una lamiera viene fatta passare tra due taglienti appositamente sagomati, uno mobile, detto punzone, e uno fisso, detto matrice, che lavorano la lamiera fino a separarla in due parti: una parte è lo scopo della lavorazione, l'altra costituisce una parte inutilizzata, detta sfrido. In particolare, si definisce punzonatura la lavorazione in cui lo sfrido è la parte di lamiera staccata dal punzone, mentre si parla di tranciatura quando la parte di lamiera staccata dal punzone è l'oggetto utilizzabile. (3)

Nello stabilimento Denso Thermal Systems di Poirino sono presenti due presse idrauliche a diverso tonnellaggio che producono collettori (per radiatori e masse radianti), fianchetti (per tutte le tipologie di scambiatori) e vasche (solo per le masse radianti) a partire da bobine di lamiera di spessori e larghezze diverse a seconda del componente in produzione.

I coil di lamiera vengono caricati con un carro-ponte su appositi rocchetti che lo svolgono permettendone l'ingresso nella pressa; tra il rocchetto e l'ingresso della pressa è presente una fossa di accumulo, che permette di disaccoppiare lo svolgimento del nastro dalla lavorazione

della pressa. È quindi presente un raddrizzatore all'ingresso della pressa, perché è importante per una buona lavorazione e per evitare tensioni sul nastro e inceppamenti dello stesso negli stampi che questo segua una direzione parallela alla macchina. Infine, si trova un dispositivo di lubrificazione, che va a generare uno spray di olio che si deposita sulla lamiera e previene inceppamenti nelle successive fasi di taglio e deformazione.

A questo punto la lamiera giunge nel cuore della macchina, dove su apposite pedane viene fissato uno stampo che attraverso fasi successive di taglio e deformazione produce i componenti conferendogli le caratteristiche geometriche previste a disegno; il componente viene estratto dalla pressa con un nastro trasportatore, che lo scarica in cassette, che vengono poi impilate su carrelli che possono essere trasportati e stoccati nell'area di deposito dei componenti stampati in alluminio. Lo sfrido di lavorazione viene invece depositato nella parte inferiore delle presse, dove dei nastri lo estraggono e trasportano all'interno di cassoni che possono poi essere pesati per valutare la quantità di materiale scartato secondo questa modalità.

A ogni cambio di modello sulle macchine, quindi a ogni cambio stampo, c'è una fase di controllo delle caratteristiche geometriche dei pezzi prodotti che ha lo scopo di verificare se i componenti siano in tolleranza o meno ed eventualmente andare a operare delle piccole regolazioni sulle macchine per ottenere pezzi conformi alle dimensioni geometriche previste.



Figura 2.2 : pressa per lo stampaggio dei componenti in alluminio

2.3 La produzione delle alette

Il processo di produzione delle alette, elemento chiave dello scambio termico di un radiatore, è un procedimento meccanico continuo di formazione e taglio effettuato con particolari rulli. Il processo parte con un nastro di alluminio di larghezza variabile in funzione del modello in produzione e spessore tipicamente 0,07 mm per radiatori e sfrutta le proprietà meccaniche elastiche e plastiche del materiale.

In generale c'è una sequenza di operazioni seguita per la produzione delle alette:

- svolgimento del nastro di alluminio;
- controllo ansa;
- controllo di tensione;
- lubrificazione;
- formatura dell'aletta;
- estrazione/avanzamento;
- compattazione;
- calibrazione della densità;
- taglio dell'aletta alla lunghezza stabilita per il modello.

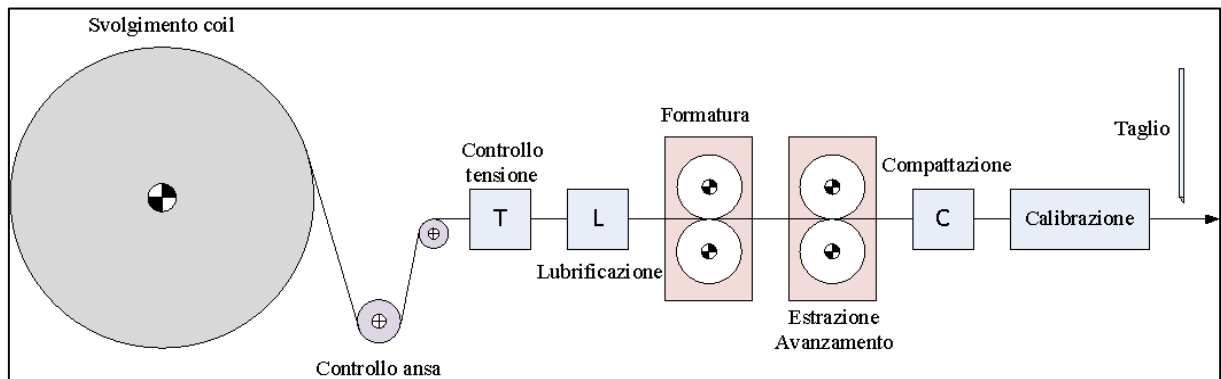


Figura 2.3 : schema del processo di produzione delle alette

Il processo inizia con il caricamento e lo svolgimento di grandi bobine di nastro di alluminio; in generale su ogni macchina sono presenti due assi svolgitori montati su una piattaforma rotante perché, mentre il nastro viene svolto su un lato, sul lato opposto è possibile iniziare il caricamento di un nuovo coil; questo consente di limitare i tempi di fermo macchina dovuti al

cambio delle bobine, perché questo è limitato alla rotazione della piattaforma che ospita i due aspi. È possibile in queste operazioni svolgere fino a 300 m/min di nastro.

Il sistema esegue un controllo continuo della quantità di nastro svolta (controllo ansa); l'organo deputato a questo controllo è detto ballerino, e adatta la velocità di svolgimento in base a due diversi parametri: il primo è la velocità della macchina, il secondo il diametro del coil di alimentazione, infatti al diminuire di questo è necessario aumentare la velocità di svolgimento. Segue un sistema di controllo della tensione, importante per ottenere una qualità ottimale dell'aletta, costituito da rulli gommati comandati da un asse controllato; questo applica una resistenza al nastro in scorrimento, detta tensione o backtension, che determina le dimensioni dell'aletta prodotta.

È necessario per una corretta lavorazione anche un meccanismo di lubrificazione, che ha la duplice funzione di ottimizzare la durata degli utensili e di favorire lo scivolamento e l'aderenza del nastro sui denti dei rulli, con un controllo aletta ottimale; la lubrificazione viene effettuata sia sul nastro che direttamente sui rulli.

Inizia a questo punto la fase fondamentale del processo, la formatura dell'aletta, effettuata attraverso utensili dedicati detti rulli di formatura; questi rulli sono montati su un'apposita cassetta che ne facilita il cambio, infatti il gruppo completo può essere direttamente fissato sulla base della macchina.

È possibile comprendere come il controllo dell'aletta venga effettuato andando ad agire sulle tensioni del nastro in ingresso ai rulli di formatura: se la tensione viene aumentata il materiale sposa meglio il profilo dei denti dei rulli, si ottiene quindi un'onda rimpicciolita, in quanto diminuiscono l'altezza, i raggi di testa, la lunghezza libera, la lunghezza e l'angolo della persiana relativi all'onda; in caso contrario, ossia andando a diminuire la tensione, si ottiene l'effetto opposto avendo un'onda ingrandita.

C'è quindi una fase di avanzamento gestita da appositi rulli, che hanno il compito di estrarre l'aletta formata e di spingerla contro la stazione successiva in modo da compattarla e renderla più fitta. Anche in questo caso i rulli sono contenuti all'interno di una cassetta che ne facilita la sostituzione a livello di gruppo.

Nella stazione successiva si effettua la compattazione dell'aletta: questa operazione ha lo scopo di addensare l'aletta formata per prepararla alla fase di calibrazione. La compattazione è a tutti gli effetti un processo di deformazione che si basa sulle caratteristiche plastiche del materiale, si ottiene andando a rallentare l'aletta all'uscita dei rulli di avanzamento producendo un

accumulo dinamico attraverso due tipologie di sistemi: una molla di compattazione, in cui una lamina di acciaio rallenta l'aletta, oppure dei rulli di compattazione che ruotano a velocità diversa. È importante che questa fase del processo sia controllata in maniera fine perché, effettuando delle deformazioni, è necessario evitare la generazione di difetti da deformazione plastica che porterebbero allo scarto dell'aletta.

Seguono una o due stazioni di calibrazione della densità, composte da coppie di rulli che ruotano a velocità diverse, provocando allungamenti o accorciamenti dell'aletta che consentono di ottenere la densità ricercata.

L'ultima fase del processo è quella di taglio, in cui un sistema composto da una lama di taglio e da un rullo chiocciola porta l'aletta alla lunghezza e calibrazione finale; a questo punto l'aletta è pronta per entrare nel pacco radiante sulla macchina di assemblaggio.

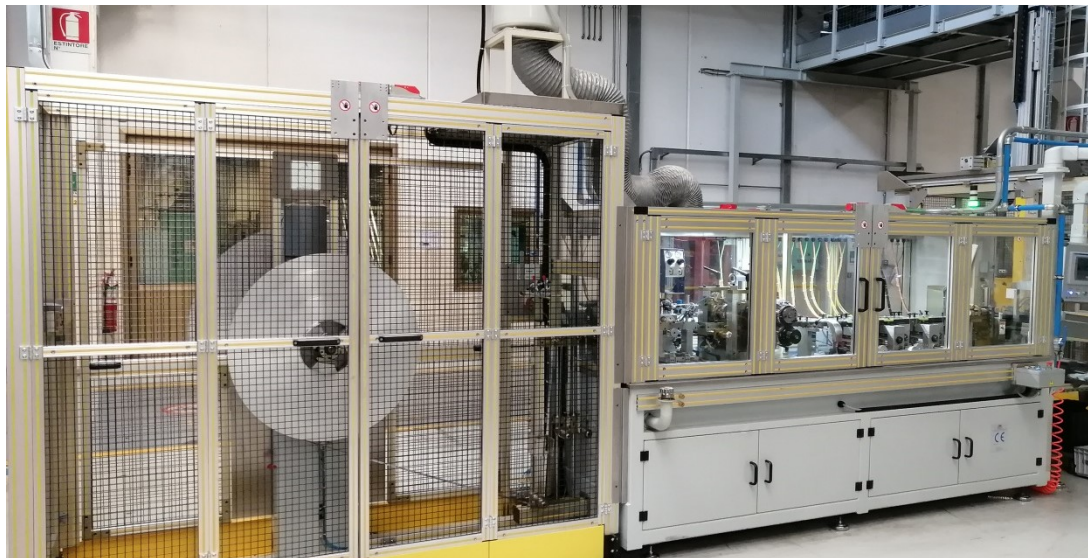


Figura 2.4 : esempio di macchina alettatrice

2.4 Il processo di assemblaggio

Il processo di assemblaggio ha l'obiettivo di unire i singoli componenti andando a produrre il blocco radiante, evitando che questo possa disgregarsi prima della fase di brasatura o durante quest'ultima; a questo scopo alla fine dell'assemblaggio vengono posizionate apposite staffe di brasatura che permettono al blocco radiante di affrontare il resto della lavorazione.

2.4.1 Le fasi del processo

Il processo di assemblaggio si svolge in diverse fasi, che possono essere così riassunte (8):

- formazione del pacco di tubi e alette;
- pre-compressione del pacco con la collocazione dei fianchetti;
- centratura delle alette;
- compressione finale a quota nominale;
- inserimento dei collettori;
- svasatura dei tubi;
- inserimento delle staffe di brasatura.

Nella prima fase si posizionano i tubi e le alette alternativamente, iniziando e concludendo il pacco con un'aletta, che andrà poi a contatto con il fianchetto; in questa fase il pacco non risulta compresso, questo facilita l'inserimento delle alette senza interferenze, mentre i tubi sono guidati da rulli a spirale che ne consentono il centraggio in posizione corretta e, nel caso di radiatori bi-rango che presentano due gruppi sovrapposti di tubi, sono appositamente sostenuti. Segue poi una fase di pre-compressione, in cui si inseriscono i fianchetti e si comprime il pacco di tubi e alette, senza tuttavia arrivare a quota nominale, in quanto è ancora necessario lasciare le alette libere di muoversi per la successiva fase di centratura, in cui vengono allineate in maniera definitiva comprimendole verso il centro del pacco.

È quindi possibile portare il pacco a compressione finale, determinando la quota nominale, realizzando il corretto passo tubi e portando tubi e alette a contatto definitivo.

Si procede poi all'inserimento e piantaggio dei due collettori, che realizza l'accoppiamento tra tubi del blocco e asole del collettore; questa fase è delicata in quanto può generare dei problemi di deformazione dei tubi una volta inseriti i collettori se viene a mancare la giusta precisione di accoppiamento, sono quindi requisiti importanti per un esito positivo il rispetto del passo tubi e il corretto allineamento verticale uniti alla contemporaneità dell'inserimento dei due collettori.

Si effettua quindi la svasatura dei tubi, un'operazione in cui si interviene con dei punzoni per allargare i tubi contro le asole del collettore; in questo modo si crea un'interferenza che garantisce l'integrità del pacco radiante e porta a un contatto più stretto tra tubo e asola che migliora la brasatura del componente.

La fase finale consiste nell'inserimento delle staffe di brasatura che tengono uniti i componenti quando la macchina libera il blocco radiante, quindi viene a mancare la compressione imposta; le staffe sono quindi elementi importanti e critici per il processo, perché devono rispondere sia a requisiti relativi alla fase di assemblaggio, quali un gioco che ne consenta il corretto inserimento nelle sedi, sia a quella di brasatura, ad esempio devono tenere in conto il ritiro del pezzo dopo il passaggio in forno di brasatura. Per questi motivi si rendono necessarie apposite sedi sui fianchetti, detti scansi, che evitino la caduta delle staffe nelle fasi successive all'assemblaggio; staffe fuori sede generano problematiche di scarto, in quanto se la staffa risulta fuori sede solo su un lato il fianchetto non può essere parallelo all'aletta, quindi questa non riesce a essere correttamente brasata, mentre se la staffa risulta fuori sede su entrambi i lati si ha una compressione non regolare sul pacco e ciò può causare la caduta delle alette.



Figura 2.5 : esempio di blocco radiante con staffe risultato del processo di assemblaggio

2.4.2 Tipologie di macchine

La fase di assemblaggio può essere realizzata con l'ausilio di diverse tipologie di macchine (8):

- Manuali a due stazioni: su queste macchine sulla prima stazione viene assemblato il pacco di tubi e alette tra i fianchetti, si passa poi su una seconda stazione dove si ha l'inserimento dei collettori e la svasatura dei tubi. Queste macchine hanno il vantaggio del basso costo tecnologico, unito alla possibilità di avere più postazioni di assemblaggio con una sola di piantaggio; a questi vantaggi si oppone però l'alto costo in termini di manodopera, oltre al fatto che può rendersi necessario un cambio di staffe tra le fasi di assemblaggio e brasatura.



Figura 2.6 : macchina manuale a due stazioni (8)

- Manuali a una stazione: anche su queste macchine si forma manualmente il pacco di tubi e alette tra i fianchetti, ma poi si avvia un ciclo in cui la macchina pianta i collettori e svasa i tubi automaticamente; vengono poi inserite manualmente le staffe di brasatura. Queste macchine, oltre al ridotto costo, rispetto a quelle a due stazioni presentano il vantaggio di non rendere necessario un cambio di staffe prima della brasatura; però ogni postazione di assemblaggio deve presentare anche l'attrezzatura di piantaggio dei collettori, e si ha comunque un elevato costo di manodopera.



Figura 2.7 : macchina manuale a una stazione (8)

- Semi-automatiche: su queste macchine i tubi vengono disposti automaticamente in posizione, mentre l’inserimento delle alette viene effettuato a mano attraverso un apposito vassoio, poi si avvia il ciclo di piantaggio dei collettori e svasatura, che è automatico, per inserire infine le staffe di brasatura manualmente; queste macchine con l’introduzione di alcuni elementi automatici presentano una buona produttività, unita alla possibilità di unire a più macchine di assemblaggio una sola alettatrice veloce. Ci sono però svantaggi legati alla necessità di utilizzare vassoi e quindi alla movimentazione dei materiali.



Figura 2.8 : macchina semi-automatica (8)

- Automatiche (“matrix builder”): queste macchine dispongono automaticamente in una zona tubi e alette in sequenza, poi il pacco viene spostato e chiuso tra i fianchetti, in modo che possa essere effettuato il piantaggio dei collettori e la svasatura dei tubi, per poi inserire manualmente le staffe di brasatura. Queste macchine hanno una buona produttività, unita alla capacità di mantenere più costante la qualità del prodotto; per contro richiedono un’alettatrice dedicata, che è vincolata a lavorare più lentamente.



Figura 2.9 : macchina di assemblaggio automatica

- Totalmente automatiche: sono macchine che eseguono tutte le operazioni, ad eccezione del carico delle materie prime e in alcuni casi dello scarico del prodotto finito, in modo automatico; la macchina compone il pacco di tubi e alette, posiziona collettori e fianchetti prelevandoli da un magazzino, e in alcuni casi inserisce anche le staffe automaticamente, mentre l'operatore ha il compito di mantenere alimentata la macchina a livello di componenti ed eventualmente di scaricare il blocco radiante assemblato. Queste macchine hanno la migliore produttività nominale, ma presentano una grande complicazione tecnologica, possono quindi essere soggette a problematiche di efficienza.



Figura 2.10 : dettaglio del carico automatico di collettori e fianchetti su impianto totalmente automatico

Le macchine di assemblaggio presenti in stabilimento sono ormai tutte automatiche o totalmente automatiche, perché sono quelle che offrono il miglior compromesso tra costo macchina, tempi ciclo, produttività ed efficienza. Inoltre, a ogni macchina di assemblaggio è dedicata un'alettatrice; in questo modo, a fronte della complicazione tecnologica dovuta all'accoppiamento delle macchine per la produzione di alette e di assemblaggio, si eliminano problematiche legate alla movimentazione ed eventuale stoccaggio di semilavorati molto delicati quali le alette, che vengono prodotte secondo necessità nel momento stesso dell'utilizzo sulla macchina di assemblaggio.

2.5 La brasatura

La brasatura è un processo che consente di unire due parti metalliche riscaldandole in presenza di un metallo d'apporto, fornito in forma fusa, che ha una temperatura di fusione superiore a 450 °C, ma comunque inferiore a quella relativa al metallo di base; il processo di riscaldamento può essere effettuato in modi diversi a seconda dei componenti che si portano a brasatura.

Il metallo di apporto fuso si distribuisce tra le superfici da unire, che devono essere opportunamente avvicinate per avere una corretta realizzazione del giunto, con un'azione capillare.

La brasatura si differenzia dalla saldatura per la temperatura di fusione del metallo di apporto, che per la saldatura è al di sotto dei 450 °C. (5)

I vantaggi di questo tipo di processo sono legati principalmente alla grande flessibilità, in quanto consente di ottenere contemporaneamente un grande numero di giunzioni, anche su particolari complessi, realizzate velocemente e che possono garantire la sigillatura e la tenuta stagna dei componenti. Rispetto al processo di semplice saldatura, non ci sono controindicazioni legate all'applicazione di calore intenso su piccole aree dei componenti, non si generano quindi problemi legati ad aree termicamente alterate. Inoltre, qualsiasi coppia di materiali potrebbe teoricamente essere unita per brasatura se presentano temperature di fusione diverse, quindi composizioni chimiche diverse.

Esistono comunque degli svantaggi legati alle complicazioni tecnologiche del processo, che richiede costi e tempi di sviluppo notevoli, affinché si possano ottenere buoni risultati di brasatura, soprattutto su particolari complessi. Inoltre, il processo è molto sensibile alla variazione dei principali parametri, quali tipologia di flussante e metallo d'apporto, temperature di brasatura, atmosfere di brasatura; ne consegue che una piccola variazione su un parametro richiede di ridefinire il processo per ottenere buone brasature.

Il processo di brasatura è determinante nella produzione dei radiatori, in quanto va a saldare i principali componenti metallici assemblati (collettori, fianchetti, tubi e alette) restituendo il blocco radiante brasato, che deve garantire una tenuta stagna e costituisce il cuore del sistema deputato allo scambio termico a bordo veicolo.

2.5.1 Principali elementi della brasatura

Una corretta esecuzione del processo di brasatura deve tener conto di alcuni specifici fattori (5):

- progetto del giunto;
- selezione del metallo d'apporto;
- pulizia e preparazione della superficie;
- flussaggio;
- metodo di riscaldamento;
- trattamenti post-brasatura e rimozione dei residui di flussante.

Progetto del giunto

Il giunto deve essere appositamente progettato per consentire una buona brasatura. Un fattore importante è lo spazio presente tra le parti da accoppiare, in quanto questo determina la capillarità, che consente al metallo d'apporto di scorrere in profondità in ogni giunto. Occorre poi evitare che residui di flussante vengano intrappolati nei componenti, in quanto questo può generare problemi di corrosione dei giunti in esercizio.

I due aspetti sono legati, in quanto spazi troppo stretti nel giunto impediscono il flusso del metallo d'apporto, mentre spazi troppo ampi possono causare inclusioni di flussante, attorno a cui il metallo d'apporto fluisce.

Per brasature con metalli diversi è inoltre indispensabile un'attenta analisi dei differenti coefficienti di espansione termica per ottenere una corretta brasatura.

In generale per processi di brasatura è preferibile avere giunti piani, ma è comunque possibile realizzare giunti testa a testa e giunti a T.

Selezione del metallo d'apporto

Il metallo d'apporto è generalmente costituito da una lega che fonde a temperatura inferiore rispetto al metallo base; questo metallo deve avere caratteristiche peculiari che le permettano di bagnare il metallo di base, di fluire e andare a riempire le giunzioni formando i giunti brasati. Per questo il metallo deve avere un angolo di contatto basso (per avere una buona bagnabilità del metallo base), alta tensione superficiale e bassa viscosità che ne permetta un buon scorrimento.

Per quanto concerne l'alluminio, materiale di interesse per gli scambiatori per veicoli, il metallo d'apporto è costituito da leghe di alluminio con contenuto di silicio compreso tra il 7% e il 12%, con una temperatura di fusione di 577 °C. Il metallo di base fonde invece a temperature comprese tra i 630 e i 660 °C.

Per la brasatura di scambiatori di calore il problema è costituito dal fornire un metallo d'apporto a centinaia di giunti contemporaneamente (le alette devono essere saldate ai tubi e ai fianchetti, e i tubi ai collettori). Per questo motivo il metallo d'apporto viene fornito con apposite placcature (*clad*), costituite da sottili strati di lega, realizzate sopra al metallo base, com'è possibile osservare nella Figura 2.11. Questi strati di placcatura sono quelli che fondono nel forno di brasatura, andando a realizzare i giunti brasati sui componenti.

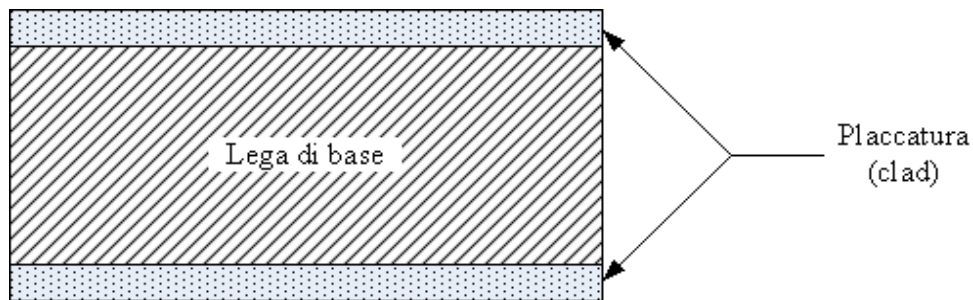


Figura 2.11 : schema della lamiera in alluminio placcata

Pulizia e preparazione della superficie

Per assicurare una corretta brasatura è indispensabile che le superfici risultino pulite e prive di formazioni di ossidi; infatti ossidi, grassi, oli o sporco in genere inibiscono la bagnabilità delle superfici e il corretto flusso del metallo d'apporto, provocando vuoti o inclusioni di materiale indesiderato.

Per assicurare queste condizioni si possono effettuare processi di tipo meccanico in cui si va a rimuovere con appositi utensili l'ossido, utilizzati però solo per materiali che presentano strati importanti di ossidi, oppure di tipo chimico con soluzioni a base acida o bagni di sali fusi.

È importante che dopo la pulizia il componente non venga toccato per non andare a depositare nuovi strati, per quanto piccoli, di grassi, che potrebbero inficiare il processo di pulizia, e conseguentemente quello di brasatura. Inoltre, è importante che venga brasato tempestivamente, per evitare la formazione di nuovi strati di ossidi, soprattutto nel caso di alluminio, che reagisce facilmente se esposto in aria.

Flussaggio

In genere è importante il trattamento dei componenti da brasare con un flussante per disperdere gli ossidi superficiali e per aumentare la bagnabilità da parte del metallo d'apporto fuso; infatti senza il flussaggio il metallo d'apporto formerebbe delle bolle anche se le superfici di contatto fossero pulite e le temperature elevate. Inoltre, il flussaggio ha funzione di protezione delle superfici da ulteriori ossidazioni durante il processo di brasatura.

La scelta del flussante viene operata in base ai materiali da brasare, alla tipologia di processo, alla configurazione dei giunti, e può essere applicato secondo diverse metodologie, quali spray, immersione o irrorazione del componente.

I flussanti possono essere corrosivi o non corrosivi; i primi essendo chimicamente attivi presentano alcuni svantaggi, infatti eventuali residui risultano molto corrosivi, soprattutto in presenza di umidità; ne consegue che questi vanno rimossi con un apposito processo, che può risultare complesso e conseguentemente molto costoso, soprattutto per componenti che presentino complicazioni geometriche, inoltre l'utilizzo di fluidi chimicamente attivi pone problematiche di stoccaggio e di smaltimento.

Per questo motivo in Denso Thermal Systems si è preferito scegliere una tipologia di flussante non corrosivo, nominato Nocolok[®], che mantiene un'ottima capacità di dissoluzione degli ossidi, pur non presentando le suddette problematiche correlate con l'utilizzo di flussanti corrosivi.

Metodi di brasatura

Esistono diverse metodologie di riscaldamento attraverso cui è possibile realizzare la brasatura:

- Brasatura a torcia: i giunti che possono essere raggiunti da una torcia possono essere facilmente portati in temperatura e brasati con questa modalità; questo processo può essere manuale o automatizzato.
- Brasatura a immersione: viene effettuata attraverso un bagno di sali fusi in cui il componente da brasare viene immerso; è una tecnica vantaggiosa in quanto il componente raggiunge velocemente e in modo uniforme la temperatura di brasatura, inoltre si ha una minore influenza del peso proprio grazie al fatto che il componente è sospeso galleggiante nel bagno di Sali.
- Brasatura in forno: questa tecnica fa riferimento a tutti quei processi in cui viene utilizzato un forno per far raggiungere ai componenti la temperatura di brasatura; questa tipologia di processo è ampiamente utilizzata nell'industria per produrre scambiatori di calore e per unire parti complesse geometricamente. Ha il vantaggio di produrre un riscaldamento uniforme e di offrire la possibilità di un accurato controllo della temperatura, è inoltre un processo economicamente sostenibile qualora si realizzino particolari complessi oppure ci sia necessità di realizzare molti pezzi.

In generale i forni di brasatura possono essere a camera singola (per la produzione di piccoli lotti) o multicamera e semicontinui o continui, a seconda delle necessità del processo di produzione.

Di interesse per la produzione di scambiatori per veicoli sono i forni “a muffola”, in cui il prodotto da brasare è contenuto in una camera isolata che viene riscaldata dall'esterno attraverso delle fiamme prodotte da gas; in questo modo i prodotti di combustione non entrano in contatto con il pezzo in lavorazione, ciò consente di ottenere giunti brasati di ottima qualità.

- Brasatura sottovuoto o in atmosfera controllata: in queste due tipologie di processo la differenza è nel controllo della camera in cui avviene la brasatura, nel primo caso nella camera viene effettuato il vuoto, nel secondo si ha un'atmosfera controllata di gas inerte. Queste due tipologie di brasatura sono nate per ovviare ai problemi legati all'utilizzo di un flussante corrosivo, insieme al processo commerciale che prende il nome di Nocolok.

2.5.2 I principali parametri del processo

La brasatura richiede il controllo accurato di alcuni parametri di processo peculiari (5):

- Tasso di riscaldamento: è determinato dalle geometrie e dai volumi delle parti da brasare, oltre che dal tipo di ambiente in cui si realizza la brasatura.
- Temperatura di brasatura: è il parametro centrale del processo, dipende dalle tipologie di materiali utilizzati come metallo base e come metallo d'apporto, e dalle relative temperature di fusione.
- Tempo di brasatura: anche questo parametro dipende dalla tipologia di componente che si va a realizzare, in termini di geometrie e numero di giunti brasati da ottenere; è pratica diffusa la minimizzazione del tempo di brasatura per evitare un eccessivo flusso del metallo d'apporto.
- Uniformità del riscaldamento: è importante garantire una temperatura uniforme affinché tutti i giunti vengano brasati allo stesso modo e si possa ottenere una lavorazione uniforme.
- Controllo della deformazione durante il ciclo di brasatura: portando i materiali vicino al punto di fusione, è possibile che si abbiano deformazioni anche dovute al peso proprio; l'accurato controllo dei parametri precedenti unito ad appositi supporti durante il processo evita la deformazione dei pezzi.

2.5.3 Le fasi del processo di brasatura dei radiatori

In Denso Thermal Systems il processo di brasatura dei radiatori si svolge in cinque principali fasi (9):

- Sgrassaggio termico: in questa fase si utilizzano particolari oli che evaporano con il riscaldamento dello scambiatore, andando a sgrassarlo; questi oli a circa 200 °C diventano volatili senza lasciare residui carboniosi, e sopra i 600 °C i fumi prodotti vengono completamente ossidati per combustione.

Per lo sgrassaggio termico si effettua un passaggio in un forno a circolazione d'aria calda, in cui l'aria attraversa il pezzo dal basso verso l'alto a un livello di temperatura di 100-190 °C.

Lo sgrassaggio termico ha un'influenza sulla bagnabilità dello scambiatore, infatti un prodotto sottoposto a sgrassaggio termico non è più bagnabile, ciò ha ripercussioni sulla fase successiva di flussaggio.

- Flussaggio: la polvere di flussante è dispersa in acqua distillata e alla sospensione viene aggiunto un agente bagnante (tensioattivo) per far sì che le superfici dello scambiatore tornino bagnabili.

Questa fase del processo è composta da tre distinte operazioni: la prima è il flussaggio del pacco radiante, che si effettua irrorando tutto il pezzo con abbondante sospensione di flussante; segue un soffiaggio del pacco, volto a eliminare l'eccesso di flussante, che si accumula soprattutto tra le alette; infine si ha un nuovo flussaggio limitato alle testate, che risultano zone più critiche per questo tipo di processo. terminate queste operazioni possono eventualmente essere soffiate alcune zone specifiche in cui il flussante potrebbe creare problemi nella successiva brasatura.

- Asciugatura: si effettua con lo scopo di asciugare il pezzo in un altro forno a circolazione d'aria calda, in cui l'aria attraversa il pezzo dal basso verso l'alto a un livello di temperatura di 250 °C.
- Brasatura: è il cuore di questo processo, lo scambiatore viene brasato in un forno in atmosfera protettiva all'interno di una muffola.
- Raffreddamento: una prima parte del raffreddamento viene effettuata ancora in atmosfera protettiva, per fare questo la muffola passa all'interno di vasche che contengono acqua fredda, successivamente il componente si raffredda in aria.

Le fasi si svolgono automaticamente in successione dal carico fino allo scarico del radiatore; una porzione del forno di brasatura è visibile nella Figura 2.12, in cui in primo piano è visibile la sezione di flussaggio dei componenti.



Figura 2.12 : porzione di uno dei forni di brasatura presenti in stabilimento

2.6 Il collaudo

Terminato il processo di brasatura, che porta all'unione definitiva dei componenti del radiatore (collettori, fianchetti, tubi e alette), il blocco radiante deve essere sottoposto a un collaudo per verificare che le fasi precedenti abbiano portato a un prodotto che garantisca la tenuta dei fluidi che dovranno circolare al suo interno in esercizio, quando sarà montato su un veicolo.

Queste verifiche vanno sotto il nome di “prova al delta p”, come si può dedurre dal nome le prove consistono nel collocare il blocco radiante su appositi banchi, collegando ai due collettori un dispositivo che inserisca all'interno del componente un gas, instaurando una data pressione; dopo una fase di stabilizzazione, sul componente viene effettuato un test a vuoto, verificando che la depressione si mantenga stabile per un tempo prestabilito in base al prodotto.

I gas utilizzati per questa tipologia di prove possono essere due: l'aria o l'elio. Il controllo con aria è di più semplice realizzazione, essendo il gas ampiamente disponibile, e risulta meno restrittiva, in quanto le molecole dell'aria risultano mediantemente di dimensioni maggiori, non riuscendo quindi a individuare micro-perdite dovute a una brasatura non completamente corretta. Il controllo con elio invece è molto più restrittivo, in quanto la molecola di questo gas

è molto piccola e permette quindi di individuare anche le più piccole perdite all'interno del blocco radiante. Nella pratica si è verificato che per radiatori, il cui ordine di grandezza della pressione in esercizio è di 1,5-2 bar, quindi non molto elevata, le prove ad aria garantiscono la tenuta del componente in esercizio senza alcun problema; invece per altre tipologie di scambiatori, quali i condensatori, che lavorano a pressioni dell'ordine di 20-25 bar, si rende necessaria la prova ad elio, che essendo più restrittiva ne garantisce in qualunque caso il corretto funzionamento in esercizio.

Inoltre, la prova di collaudo può essere eseguita secondo due modalità:

- automatica: in questa modalità il blocco radiante viene caricato in una macchina automatica che colloca il componente su appositi banchi che effettuano la verifica al delta p e poi scaricano i blocchi collaudati e scartano invece quelli che non superano la prova;
- manuale: in questa modalità il blocco radiante arriva su carrelli o attraverso un sistema di trasporto automatico ad apposite postazioni manuali, in cui un operatore prende il blocco, ne effettua un primo controllo visivo per individuare difetti macroscopici, e poi lo monta su un banco per il delta p.

I blocchi radianti che superano il collaudo possono quindi seguire processi diversi, infatti possono essere direttamente imballati per essere spediti in altri stabilimenti dove verrà eseguita l'aggraffatura (quindi l'inserimento delle vasche ed eventuali ulteriori componenti) e il controllo finale, oppure possono essere aggraffati e collaudati direttamente in stabilimento, per poi essere spediti ai clienti o ai reparti di montaggio che li utilizzano per l'assemblaggio degli ECM (engine cooling modules).



Figura 2.13 : esempio di banco manuale per il collaudo al delta p dei radiatori

2.7 La finitura

La fase di finitura è caratterizzata dal completamento dell'assemblaggio del prodotto a partire dal blocco radiante collaudato nella fase precedente; i componenti principali che vengono aggiunti sono le guarnizioni e le vasche di ingresso e uscita dei fluidi: questo processo prende il nome di aggraffatura, e si svolge in differenti fasi:

- pre-aggraffatura: sui collettori del blocco radiante vengono inserite le guarnizioni che impediscono la perdita di fluidi tra vasca e collettore, e vengono poi montate le vasche andando a ripiegare solo una parte delle greche presenti sul collettore;
- prova a delta p: viene verificata la tenuta del radiatore, perché in questa fase potrebbero esserci difetti dovuti solo a un errato posizionamento della guarnizione e in questo caso si può tentare di riprocessare il pezzo;
- aggraffatura definitiva: tutte le greche vengono ripiegate andando a fissare del tutto le vasche sul blocco radiante. A questo punto il radiatore è completo e può subire un ultimo collaudo, per poi essere imballato e spedito ai clienti oppure essere inviato alle linee di montaggio.

Anche nel caso dell'aggraffatura e finitura le operazioni possono essere effettuate sia su banchi manuali, sia su macchine automatiche che eseguono tutto il processo, dalla fase di collaudo del

blocco radiante all'aggraffatura delle vasche con prova in camera a elio; l'unica operazione che non può essere eseguita automaticamente è la collocazione delle guarnizioni, questo è dovuto alla natura del materiale, che essendo di natura gommosa e quindi non rigida, risulta di difficile manipolazione, inoltre è stata riscontrata una certa difficoltà nell'avere una precisione di collocamento automatico nelle opportune sedi delle guarnizioni stesse.

Sono quindi state allestite due postazioni manuali per il collocamento delle guarnizioni precedente all'accoppiamento delle vasche con i collettori.

Alcuni prodotti prevedono l'inserimento di componenti aggiuntivi: ad esempio all'interno di una delle vasche può essere montato un ulteriore scambiatore denominato TOC (transmission oil cooler) che realizza il raffreddamento dell'olio dedicato alla trasmissione. Queste operazioni sono in genere svolte su banchi manuali.



Figura 2.14 : esempio di postazione di collaudo e aggraffatura

3 Lean manufacturing

Il moderno contesto produttivo e competitivo ha messo in risalto alcune problematiche legate al modello di produzione di massa proposto da Henry Ford nella prima metà del '900. Questo modello, che privilegiava l'offerta piuttosto che la domanda, si collocava bene nel contesto della seconda rivoluzione industriale, caratterizzato da un grande sviluppo tecnologico.

La produzione di massa era basata sulla standardizzazione dei prodotti e dei processi industriali, con l'obiettivo di aumentare l'efficienza del sistema produttivo; la conseguenza di questa tipologia di organizzazione era un'accentuata rigidità, che non teneva particolare conto di aspetti qualitativi e di costo, oltre a non focalizzare l'attenzione sul cliente.

Per molto tempo una tendenza espansionistica dei mercati permise di mantenere la massima produttività, non evidenziando particolari limiti nel sistema di produzione di massa, e questo risultò quindi agli occhi di molti imprenditori il metodo più competitivo a livello industriale.

Tuttavia, in Giappone, dopo la Seconda guerra mondiale, il direttore della Toyota Taiichi Ohno, sulla spinta di differenti esigenze produttive che non rendevano competitivo un sistema di produzione di massa, scelse di adottare una differente strategia. Questa si basava sulla domanda proveniente dal mercato piuttosto che sull'offerta, ponendo l'esigenza del cliente al centro del processo produttivo; questa caratteristica, insieme al miglioramento continuo di prodotto e di processo, permetteva di rispondere più velocemente alle fluttuazioni dei mercati, oltre a soddisfare una clientela sempre più esigente rispetto alla "personalizzazione" dei prodotti e alla loro funzionalità.

Nacque così il *Toyota Production System (TPS)*, che permise a Toyota e più in generale alle aziende giapponesi di affermarsi come leader a livello mondiale dei rispettivi settori produttivi nella seconda metà del '900, ed è alla base delle moderne tecniche di produzione snella (*lean manufacturing*). Un assetto produttivo snello, dinamico, efficiente, in grado di coinvolgere e valorizzare le risorse umane, che non produce sprechi, risulta più flessibile e quindi maggiormente capace di rispondere in tempi rapidi alle evoluzioni dei mercati, rendendo le imprese più competitive.

3.1 I principi del TPS

I pilastri della moderna *lean manufacturing* sono basati sui concetti esplicitati per la prima volta da Taiichi Ohno con il Toyota Production System, e possono essere così sintetizzati:

1. *Centralità del cliente*: il cliente e il valore che si attende da un determinato prodotto sono visti come il fulcro attorno a cui tutte le operazioni legate alla progettazione, alla produzione e alla fornitura di un bene o servizio devono ruotare; è quindi fondamentale creare un flusso di informazioni che dal cliente possa risalire fino ai reparti di ricerca e sviluppo di un'impresa, in quanto è importante un costante dialogo tra impresa e cliente, finalizzato a definire in maniera puntuale e dettagliata fabbisogni e valore legati a un bene o servizio. La definizione di cliente è inoltre estesa: non è più solo il destinatario del prodotto finito, si creano dei clienti "interni" alla singola impresa, che fanno parte a tutti gli effetti del flusso di informazioni e valore.
2. *Importanza delle risorse umane*: le persone sono parte del processo produttivo, la capacità di gestirle è un requisito fondamentale per l'ottenimento di risultati positivi e per la competitività dell'impresa; è quindi necessario un costante lavoro sinergico di tutte le entità coinvolte nella produzione di un bene o servizio, a partire dalla direzione dell'impresa fino agli operai che materialmente lo fabbricheranno, volto a raggiungere velocemente un obiettivo comune.
3. *Eliminazione degli sprechi*: "*Muda*. It's the one word of Japanese you really must know" è la frase d'esordio del libro "*Lean thinking*"¹. *Muda* è una parola giapponese che letteralmente significa "rifiuto", nel contesto produttivo identifica qualsiasi attività assorba risorse senza aggiungere valore al bene o servizio, quindi deve essere eliminata se possibile o almeno analizzata e migliorata.
4. *Miglioramento continuo*: questa espressione è identificata dalla parola giapponese *kaizen*; infatti il presupposto è che nessun processo possa essere perfetto, e si debbano di conseguenza mettere in atto delle azioni volte a migliorarlo. Il miglioramento deve essere inoltre un processo condiviso dalle persone a tutti i livelli all'interno dell'impresa, per fornire i migliori risultati nel conseguimento di obiettivi specifici.

¹ James P. Womack, Daniel T. Jones, "Lean thinking", Free Press, New York, 2003.

In riferimento all'eliminazione degli sprechi, Taiichi Ohno individuò 7 tipologie principali di spreco caratteristiche dell'attività industriale, che andrebbero eliminate o almeno limitate:

- *Sovraproduzione*: è identificata dalla produzione di un bene prima che sia richiesto; ciò causa costi non necessari, ostacoli al regolare flusso di materiali e diminuzione della qualità e della produttività.
- *Scorte*: costituiscono un problema perché occupano uno spazio produttivo diversamente utilizzabile, e ne ostacolano il controllo. Inoltre, un eccesso di scorte può accrescere il tempo di processamento (*lead time*), ritardare l'identificazione di problemi, inibire una comunicazione efficace.
- *Attese*: si verificano quando un prodotto non è in movimento né in processamento; possono costituire una parte consistente del lead time legato a un prodotto e in genere sono legate a una scarsa analisi del flusso di materiali e informazioni.
- *Trasporti*: lo spostamento di materiali tra un'operazione e la successiva rappresenta una tipica casistica di attività che non aggiunge valore a un prodotto; la presenza di eccessive movimentazioni aumenta la probabilità di danneggiamenti o deterioramenti della qualità.
- *Movimentazioni non necessarie*: riferite a personale o attrezzature, possono provocare danneggiamenti e problematiche legate alla sicurezza.
- *Sovra-processamenti*: consistono nell'utilizzo di risorse più costose del necessario o nell'arricchimento del prodotto con caratteristiche non richieste dal cliente; inoltre, risorse costose in genere spingono all'utilizzo di sovrapproduzione con lo scopo di ammortizzare i costi più elevati. Un caso particolare in questo ambito riguarda gli operatori qualificati, che se svolgono attività che non richiedono il livello della loro qualifica, generano un costo per il mantenimento delle competenze che non è necessario.
- *Difetti*: le problematiche di qualità sono molto impattanti sulla catena del valore di un determinato prodotto, perché inducono riprocessamenti o generano scarti con i relativi costi e sprechi di risorse.

Le categorie di spreco individuate (riassunte insieme alle conseguenze più comuni nello schema in Figura 3.1) coprono una grande varietà di problemi e risultano spesso interconnesse, per questo motivo i principi del *lean thinking*, che saranno analizzati nel paragrafo successivo, a partire dalle basi poste dal TPS si focalizzano su tutta la catena e il flusso del valore.

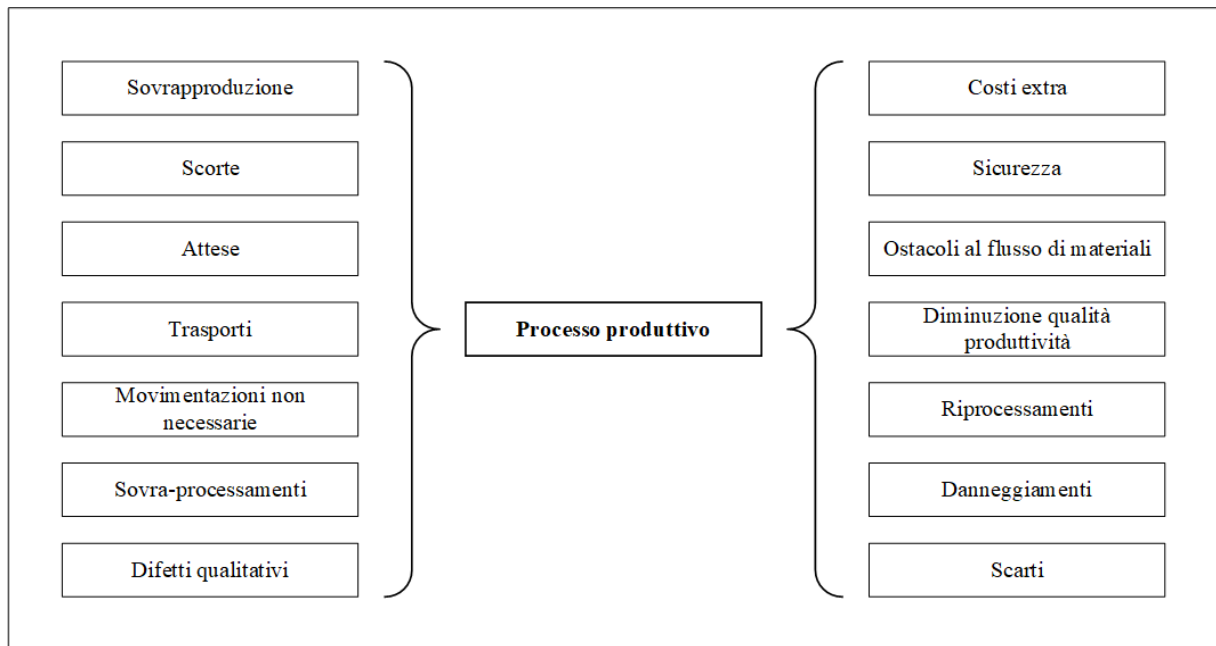


Figura 3.1 : i sette sprechi individuati dal TPS e le conseguenze più diffuse

3.2 I principi del *lean thinking*

Le tecniche *lean* costituiscono oggi un sistema completo per organizzare la produzione industriale attraverso strumenti dedicati, che saranno analizzati nel paragrafo 3.3, ma anche un vero e proprio modo di pensare e realizzare un prodotto o un servizio, a partire dalla richiesta del cliente fino ad arrivare al prodotto finito, da cui la definizione di “*lean thinking*” [James P. Womack, Daniel T. Jones, 2003]. Lo scopo finale di questa impostazione è riuscire a realizzare sempre di più e meglio utilizzando una minor quantità di risorse, identificando in maniera quanto più sistematica possibile gli sprechi aumentando il valore che il cliente percepisce per il bene o servizio prodotto.

I principi derivati dal *TPS* e su cui si fondano ancora oggi le moderne tecniche di *lean manufacturing* sono stati individuati dagli autori di “*Lean thinking*” (10):

1. *Specify the value*: per l’eliminazione degli sprechi è necessario analizzare sistematicamente nel contesto di un processo produttivo quali attività aggiungono valore, queste sono le uniche che giustificano un impiego di risorse; se le attività non aggiungono valore sono da considerare spreco (*muda*). La catena del valore è definita a partire dal cliente, che richiede un prodotto con specifiche caratteristiche in un determinato momento a un prezzo determinato.

2. *Identify the value stream*: occorre identificare il flusso del valore corrispondente a tutte le attività necessarie per passare dalle materie prime a un prodotto finito; per fare ciò le attività vengono classificate in tre diverse categorie:
 - attività che generano valore (che vanno a costituire il valore percepito dal cliente finale);
 - attività che non generano valore ma sono necessarie, quindi non eliminabili;
 - attività che non generano valore e non necessarie, quindi eliminabili.
3. *Make value flow*: eliminate le attività che non generano valore, quelle che ne generano devono essere organizzate con lo scopo di creare un flusso; l'obiettivo finale della produzione snella è di fare in modo che la fabbricazione proceda in modo quanto più lineare possibile, infatti le lavorazioni possono essere eseguite in modo più efficiente se il flusso tra materie prime e prodotto finito è continuo, facendo decadere così il classico sistema di produzione per lotti. Questo obiettivo è piuttosto complesso da raggiungere, in quanto spesso richiede interventi consistenti per riorganizzare le attività produttive in tempi brevi.
4. *Let the customer pull*: riorganizzato il flusso relativo a una determinata produzione, occorre far sì che sia il cliente a "tirare" i processi (di conseguenza il valore); l'obiettivo è che l'impresa sia a questo punto in grado di recepire le richieste del cliente, progettare un prodotto, programmarne la produzione, e fabbricare solo ciò che il cliente richiede, nel momento in cui lo richiede.
5. *Pursue perfection*: la perfezione non è un obiettivo realisticamente raggiungibile, è però importante lavorare in un'ottica di miglioramento continuo, applicando in maniera sistematica i precedenti principi; in questo modo il sistema dovrebbe naturalmente tendere a un'ottimizzazione di spazi e tempi, dunque costi legati alla fabbricazione di prodotti finiti.

Definiti i principi alla base della lean manufacturing è possibile descrivere brevemente gli strumenti più interessanti ideati per raggiungere gli obiettivi posti da questo tipo di organizzazione della produzione.

3.3 Strumenti della *lean manufacturing*

L'applicazione sistematica dei principi di produzione snella hanno prodotto nel tempo l'ideazione e lo sviluppo di alcuni strumenti peculiari della lean manufacturing, che offrono un supporto per la riduzione e l'eliminazione degli sprechi, la minimizzazione delle scorte, e per avere una maggior flessibilità rispetto alle richieste dei clienti. Si riporta qui una breve descrizione dei principali e più interessanti strumenti lean (11), alcuni dei quali sono utilizzati nello stabilimento Denso di Poirino.

Metodo delle 5S

È una metodologia che consente di sviluppare e standardizzare l'organizzazione della postazione dedicata a una determinata lavorazione. Il nome 5S ha origine in 5 operazioni che in giapponese iniziano con la lettera "s":

- *Seiri*: consiste nell'identificazione di materiali e attrezzature che non aggiungono valore, quindi devono essere eliminati.
- *Seiton*: identificati i materiali necessari, occorre mantenerli ordinati in modo che ogni elemento abbia una precisa collocazione, che ne faciliti l'utilizzo e la risistemazione.
- *Seiso*: è importante stabilito un ordine mantenerlo e pulire accuratamente la postazione di lavoro.
- *Seiketsu*: in riferimento alle prime tre operazioni, è necessario renderle quanto più possibile standard e sistematiche, in modo che abbiano una ripetibilità e si possa sempre procedere a una razionalizzazione.
- *Shitsuke*: a tutti i livelli aziendali occorre sostenere questa tipologia di organizzazione per far sì che sia diffusa a tutte le attività produttive.

Questo strumento è importante perché ha lo scopo di fronteggiare disordine, disorganizzazione e sporcizia sulle postazioni di lavoro, che sono tra le prime cause di problematiche di tipo qualitativo e ostacolano un regolare flusso di produzione.

Just in time

È un modello produttivo che prevede che una determinata produzione cominci solo nel momento in cui c'è una domanda di un'esatta quantità di prodotto; l'ottica è quella della

minimizzazione delle scorte e degli sprechi e costi correlati, perché si acquistano beni e materiali di fornitura solo nel momento in cui sono necessari, in quantità definita. Tuttavia, questo strumento risulta complesso da utilizzare al massimo delle sue potenzialità, perché richiede un flusso di materiali e informazioni molto rapido e lineare, difficile da ottenere soprattutto quando gli attori della catena di approvvigionamento sono molti e costituiti da imprese diverse.

Cellular manufacturing

La produzione cellulare consiste nell'organizzazione delle attrezzature e delle postazioni di lavoro dedicate a un prodotto in modo da generare un flusso lineare; è importante soprattutto per garantire un'integrazione ottimale tra lavorazioni manuali e automatiche a valore aggiunto, in quanto solo un corretto bilanciamento dei diversi processi può garantire un flusso continuo e senza ritardi. Si contrappone a un modello a lotti e code in cui si processano più pezzi, per poi effettuare la lavorazione successiva; infatti un pezzo alla volta scorre lungo il processo, con una cadenza definita, in questo modo la produzione risulta anche più flessibile rispetto a variazioni di caratteristiche del prodotto richieste dal cliente.

Lo scopo di questo strumento è di minimizzare il tempo che il prodotto finito richiede per essere processato a partire dalla materia prima; una naturale conseguenza è che sono minimizzati anche i trasporti e movimentazioni di parti, le attese, le scorte, e si ha un incremento di produttività (11).

Kaizen

È la trasposizione pratica del concetto di miglioramento continuo: attraverso una costante e sistematica analisi di piccoli problemi di cui si indaga una soluzione si cerca di migliorare il processo nella sua totalità; questo strumento ha grande potenzialità e fornisce ottimi risultati quando viene utilizzato in modo integrato a tutti i livelli dell'impresa, unitamente ad altri strumenti (ad esempio le 5S), e in modo sistematico, stabilendo determinati orizzonti temporali per ciascun progetto.

Questo approccio inoltre aiuta le persone, dai dirigenti fino agli operai, a focalizzarsi sui problemi e a farne un'analisi dettagliata, che a catena consente di individuare nuove piccole criticità a cui porre rimedio in un'ottica di miglioramento complessivo.

Kanban

È uno strumento che ha lo scopo di implementare tecniche di just in time e logiche di tipo pull andando a minimizzare il livello di scorte, quindi i relativi costi e problemi qualitativi. Il Kanban è un sistema costituito da cartellini e appositi tabelloni, che permettono di monitorare automaticamente il livello di scorte sia internamente all'impresa che eventualmente a livello di forniture, e di innescare lo svolgimento di determinate operazioni al momento opportuno.

Il sistema si basa sulla standardizzazione degli imballi, quindi della quantità di un dato materiale o semilavorato che possono contenere; è così possibile avere il controllo delle esatte quantità necessarie, prodotte e stoccate andando a fabbricare un componente solo quando si è verificato un consumo che ne giustifica il richiamo in produzione.

L'utilizzo di questo strumento è ottimale se è basato su una domanda in tempo reale piuttosto che non su previsioni di produzione, tuttavia spesso questo è difficile da ottenere, in quanto è oneroso fare degli adattamenti frequenti.

I vantaggi riscontrabili nell'utilizzo del Kanban sono legati alla minimizzazione delle scorte, all'eliminazione di scarti dovuti a eccessive movimentazioni, e alla produzione dei componenti solo nel momento in cui è necessario.

Poka-yoke

È un termine giapponese che significa “a prova di errore” e identifica strumenti o procedure che hanno lo scopo di evitare errori e creazione di difetti nell'ambito del processo di produzione; questo strumento nasce per prevenire errori anche da parte di personale non accorto ponendo dei limiti fisici ad azioni che potrebbero introdurre difetti nel prodotto. L'obiettivo è limitare fino a eliminare le ispezioni di controllo qualità, in quanto il processo stesso dovrebbe essere autoregolato attraverso gli strumenti lean in modo da non richiederle.

Single minute exchange of die (SMED)

Nell'ambito della produzione industriale in presenza di macchine automatiche e spesso molto costose, queste non possono essere dedicate a un singolo componente o prodotto, quindi prevedono la possibilità di sostituire alcuni attrezzaggi per effettuare più produzioni; ne consegue una problematica di tempi di configurazione della macchina ad ogni cambio tipo (ad esempio dopo la sostituzione di uno stampo in una pressa) in cui devono essere impostati e

verificati determinati parametri per poter eseguire correttamente la lavorazione. In genere il tempo richiesto è proporzionale alla complessità della macchina e alla quantità di parametri da verificare.

Nasce quindi uno strumento come lo SMED, che consiste in una serie di procedure standardizzate e sistematiche con il preciso obiettivo di minimizzare i tempi impiegati nei cambi di modello su una macchina. Riducendo le attese dovute alle configurazioni più tempo può essere dedicato alla produzione, ed è possibile realizzare anche piccoli lotti, in modo rapido, riducendo i lead time e risultando più efficienti nei confronti del cliente.

Takt time

Il takt time è il tempo che intercorre tra il completamento di due successive unità di prodotto finito; definisce quindi la cadenza produttiva, e risulta importante per la pianificazione, perché occorre garantire la sincronizzazione delle diverse lavorazioni per ottenere un flusso continuo e bilanciato.

La definizione del takt time parte dall'orizzonte temporale, dal volume di prodotto previsto in questo periodo e dal tempo lavorativo a disposizione, al netto di pause programmate; rappresenta quindi il ritmo a cui deve scorrere il flusso del valore (nella pratica l'intervallo medio che intercorre tra due pezzi per soddisfare la domanda del cliente su una determinata base temporale).

Total productive maintenance (TPM)

Nei moderni stabilimenti produttivi, considerata la crescente complessità delle macchine impiegate, è fondamentale mantenerle in piena efficienza per tutto il loro ciclo di vita utile, curandone al meglio la manutenzione. Questa non è quindi più percepita come un'attività che non aggiunge valore, in quanto evita lunghi tempi di interruzione della produzione dovuti ai guasti a cui le macchine sono soggette.

Nasce però l'esigenza di sistematizzare e ottimizzare la manutenzione all'interno degli stabilimenti, perché questa permette di effettuare miglioramenti sulla sicurezza, sulla qualità, sui costi. La TPM si pone quindi come uno strumento di manutenzione preventiva, contrapposto alla classica impostazione emergenziale di risoluzione dei guasti, e risulta tanto più efficace quanto più è condivisa a tutti i livelli aziendali.

Value stream mapping (VSM)

È un'evoluzione del *material and information flow diagram (MIFD)*, come si può dedurre dal nome è uno strumento che consente di identificare visualmente attraverso appositi diagrammi il flusso di valore, in termini sia di materiali che di informazioni. È uno strumento semplice da utilizzare, che costituisce una buona base decisionale per l'allocazione delle risorse sulle operazioni del processo che possono produrre i miglioramenti più consistenti, identificando i punti dove si concentrano i maggiori sprechi.

Consente inoltre di fotografare su un solo foglio la situazione corrente, e impostare un progetto di linearizzazione del processo che consenta di ridurre al minimo i lead time e gli sprechi, identificando colli di bottiglia o inefficienze sia nei flussi di materiali che in quelli di informazioni.

3.4 Vantaggi dell'utilizzo di tecniche *lean*

Nonostante la lean manufacturing sia focalizzata sulla produzione, portando i vantaggi descritti finora in questo capitolo, è anche uno strumento decisionale efficace perché ha una grande capacità di riduzione dei costi, in particolare in termini di (11):

- *Progettazione*: lo sviluppo di un prodotto determina l'80% del costo di produzione; è possibile ottenere un significativo contenimento del costo attraverso una progettazione funzionale che tenga conto delle tecniche produttive, di controllo, e dell'affidabilità.
- *Produzione*: sono quelli maggiormente coinvolti nell'utilizzo di tecniche lean, che possono portare grandi aumenti di produttività, con una significativa riduzione delle scorte e degli scarti; ulteriori risparmi possono essere raggiunti con l'ottimizzazione dei flussi (di materiali e informazioni) e con il controllo del processo produttivo.
- *Flessibilità*: i prodotti standard possono essere fabbricati senza la necessità di scorte nel momento in cui vengono ordinati, prodotti più particolari possono essere facilmente personalizzati secondo le richieste del cliente; questo può essere raggiunto con l'utilizzo del VSM e cercando di formulare previsioni accurate.
- *Standardizzazione*: le economie di scala derivate dall'utilizzo di un minor numero di tipologie di componenti standard, quindi da acquisti più consistenti, può portare una

notevole riduzione di costi; l'effetto è più accentuato se la standardizzazione è estesa a diverse piattaforme di prodotti.

- *Razionalizzazione della gamma di prodotti*: occorre eliminare i prodotti a basso profitto che possono provocare perdite sulla base dei costi totali.
- *Gestione della catena di approvvigionamento*: questa ha un impatto significativo sulle scorte e sui relativi costi; ne consegue che se è ottimizzata e il processo è ben controllato la semplice gestione accurata può comportare dei risparmi in termini di costo.
- *Qualità*: la scarsa qualità di un prodotto ha un costo notevole; ne consegue che eliminare i problemi qualitativi consente di ridurre i costi, attraverso una progettazione basata sull'affidabilità della produzione e la creazione di esperimenti per la produzione.

In conclusione, l'obiettivo finale della produzione snella è di fare di più con meno risorse, in termini di persone, macchine, tempi e spazi, cercando di soddisfare il cliente in termini di qualità di prodotto, nel momento opportuno.

Il pensiero snello inoltre crea delle opportunità, in quanto l'utilizzo degli strumenti analizzati nel paragrafo 3.3 consente di avere sempre un feedback, che indica a che punto ci si trova sulla strada del miglioramento e dell'eliminazione degli sprechi in tempi piuttosto contenuti; tuttavia è chiaro che per ottenere dei buoni risultati occorrono costanza e sistematicità, unitamente a una grande collaborazione di tutte le figure coinvolte nell'azienda e a una corretta integrazione degli strumenti analizzati, che se non viene raggiunta rischia di creare conflitti che generano ulteriori problemi.

4 La gestione dello scarto

Questo capitolo si pone come obiettivo l'analisi delle cause di scarto nel processo di produzione di radiatori, a partire dai momenti di rilevamento delle sue quantità nelle diverse fasi del processo produttivo.

Una prima osservazione da effettuare è che può essere rottamato e trattato come scarto solo il materiale che viene effettivamente trasformato in stabilimento; per eventuali non conformità su materie prime invece viene effettuata una segnalazione alla funzione qualità, che procede con un'analisi dettagliata della difettosità al fine di determinare se il materiale rispetti le specifiche di processo o meno. Di conseguenza la trattazione effettuata in questo capitolo riguarda soltanto i processi di trasformazione delle materie prime, quindi la produzione dei componenti, l'assemblaggio e la brasatura dei semilavorati, oltre alle fasi di collaudo e finitura, in cui possono essere ulteriormente rilevate difettosità che portano allo scarto del pezzo prodotto.

Nei paragrafi di questo capitolo vengono quindi descritte le fasi e le modalità di analisi dello scarto, le principali causali, con alcuni limiti di accettabilità sui difetti esclusivamente di tipo estetico, per comprendere infine come vengano aggregati i dati raccolti nello stabilimento produttivo.

4.1 Fasi di analisi dello scarto

Le quantità di semilavorati di scarto vengono gestite in modo diverso a seconda della fase del processo produttivo in cui vengono rilevate. Una prima grande distinzione si trova nel trattamento dello scarto a monte dei forni di brasatura e a valle di questi ultimi. Infatti, prima della brasatura l'analisi si limita alla discriminazione di scarti qualificati come solo “tubo” per quanto concerne le tube mill e come “tubo” o “aletta” per quanto concerne le macchine di assemblaggio. Queste tipologie di scarto vengono raccolte in cassoni dedicati caratterizzati ciascuno secondo:

- Macchina da cui raccolgono lo scarto.
- Codice relativo al materiale di scarto (modello in produzione e discriminazione tra tubo e aletta).
- Numero identificativo.

I suddetti cassoni (di cui è possibile osservare un esempio nella Figura 4.1) sono poi pesati per determinare l'esatta quantità scartata, e i dati vengono caricati in un database che consente di effettuare analisi e generare dei grafici che riassumono su base giornaliera e a livello di reparto i livelli di scarto raggiunti.



Figura 4.1 : esempio di cassone dedicato allo scarto

A valle del processo di brasatura viene invece effettuato un controllo visivo sulla totalità dei blocchi radianti prodotti su base turno andando a discriminare diverse cause di difettosità riportate su appositi fogli spunti; a fine turno questi dati confluiscono in un database che raccoglie e riassume le tipologie di difetto per singolo modello.

Queste procedure consentono di avere un monitoraggio costante dei livelli assoluti e delle percentuali di scarto in relazione alla produzione di pezzi conformi; questi dati costituiscono poi un utile strumento decisionale per intraprendere azioni di miglioramento di processo e/o di prodotto.

4.1.1 Produzione dei tubi

La rilevazione delle quantità di scarto nella produzione dei tubi che costituiscono insieme alle alette il cuore degli scambiatori di calore avviene nel caso della tube mill più recente secondo due principali modalità:

- scarto automatico da parte della macchina di tubi non correttamente chiusi che vengono deviati nell'apposito cassone;
- scarto manuale da parte degli operatori che forzano la macchina allo scarico in un apposito contenitore di alcuni tubi che vengono sottoposti ad un controllo qualitativo delle principali caratteristiche geometriche.

Il controllo di qualità, effettuato con misure attraverso un comparatore e apposite carte di controllo, consente di fermare la produzione se i tubi non rispettano le specifiche a disegno e alcune caratteristiche dovute a esigenze delle successive operazioni di assemblaggio.

Se l'esito del controllo è positivo si procede con la produzione, in caso contrario si torna a modificare la configurazione della macchina per ottenere le caratteristiche del tubo desiderate procedendo per successive variazioni dei parametri macchina fino a ottenere un profilo accettabile.

Il controllo qualitativo è necessario in quanto la macchina scarta automaticamente soltanto i tubi non correttamente chiusi, effettuando una verifica facendo circolare una corrente sull'anello del tubo; se la corrente circola il tubo è correttamente chiuso e saldato, se non circola il tubo non è correttamente lavorato. La tube mill non può invece effettuare in autonomia un controllo delle caratteristiche geometriche del profilo del tubo in tempo reale durante la lavorazione.

Tutto lo scarto viene convogliato in un cassone che contiene esclusivamente tubi e che viene pesato, il peso del materiale è poi caricato nel database relativo ai cassoni andando a costituire il dato di scarto su base turno o giornaliera per la singola macchina e per il modello prodotto.

A ogni tube mill (in stabilimento ne sono presenti quattro) verrà quindi imputata una quantità di scarto classificata come "tubo" e discriminata per tipologia di tubo prodotto, in base al peso del relativo cassone.

4.1.2 Assemblaggio

Nella fase di assemblaggio viene costruito automaticamente il pacco radiante, costituito da tubi e alette, a cui vengono uniti prima i fianchetti che chiudono il pacco, e su cui vengono poi piantati i collettori, in questo modo i tubi del pacco vengono inseriti nelle asole ricavate sul collettore stampato; il blocco in questa fase viene mantenuto serrato da apposite staffe (dedicate per ogni modello) che fanno sì che questo non si disgreghi prima della fase di brasatura.

In questa fase lo scarto in cassoni per singola macchina viene suddiviso in due categorie:

- “tubo”, contiene tubi scartati o tubi di pacchi il cui assemblaggio non è andato a buon fine;
- “aletta”, contiene alette deviate e scartate nel cassone dalla macchina perché non conformi alle specifiche richieste o di pacchi il cui assemblaggio non è stato correttamente completato.

Questo procedimento viene effettuato al fine di monitorare le quantità di materiale scartato suddividendolo per tipologia di semilavorato; nel caso di problemi relativi ai tubi occorre risalire il processo per individuare la causa alle tube mill, mentre nel caso di problemi riguardanti le alette è possibile verificare ed eventualmente modificare le impostazioni delle alettatrici poste a bordo delle macchine assemblatrici.

Nella fase di assemblaggio inoltre l'operatore di ogni turno può classificare attraverso appositi fogli spunti, che contengono delle causali standard di scarto, la tipologia di difettosità rilevata quando si vanno a scartare i blocchi radianti prodotti; è possibile osservare un esempio di foglio spunti di assemblaggio nella Figura 4.2.

MODELLO		IMPIANTO		DATA		TURNO		T.L.																																	
RADIATORI RIPARABILI																																									
Aletta corta (riparabile)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	Tot
Doppia aletta (riparabile)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Aletta pizzicata nel tubo/fianchetto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Svasatura tubo Ko - tubo rotto (riparabile)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Inserimento fianchetto errato (riparabile)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Doppio tubo (riparabile)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Aletta caduta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Altri difetti riparabili	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
RADIATORI NON RIPARABILI																																									
Aletta corta (non riparabile)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	Tot
Doppia aletta (non riparabile)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Manca un'aletta (non riparabile)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Aletta pizzicata nel tubo/fianchetto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Svasatura tubo Ko - tubo rotto (non rip.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Inserimento fianchetto Ko (non rip.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Doppio tubo (non riparabile)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Piantaggio collettore KO (non rip.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Pacco danneggiato da urti (non rip.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Aletta collassata (non riparabile)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Tubo bollato/ammaccato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Pacco esploso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Altri difetti riparabili	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Totale radiatori non riparabili a rottame	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	

Figura 4.2 : esempio di foglio spunti di assemblaggio

La raccolta di questi dati consente di andare a comporre un database che riassume le cause di scarto per macchina, per modello e per causale, consentendo di individuare i problemi più critici in questa fase del processo e studiare le opportune contromisure.

È da osservare che al momento non è ancora disponibile un sistema di gestione che vada a tracciare puntualmente lo scarto relativo a collettori e fianchetti scartati da blocchi interi nella fase di assemblaggio; questo è accettabile in quanto in genere la quantità più consistente di materiale scartato è costituito da tubi e alette, il peso di collettori e fianchetti incide solo in una piccola percentuale sulla quantità totale di materiale scartato.

4.1.3 Scarico forno di brasatura

Allo scarico del forno di brasatura i componenti precedentemente assemblati sono saldati insieme se il processo è stato svolto in maniera corretta. A questo punto i blocchi possono seguire due differenti percorsi:

- Collaudo al delta p senza successiva aggraffatura;
- Collaudo al delta p con aggraffatura (volta a ottenere un radiatore finito completo di vasche e guarnizioni) e ulteriore collaudo a elio del prodotto finito.

In particolare allo scarico del forno è presente un sistema di visione che valuta le dimensioni del blocco per individuarne i principali parametri geometrici, segue un dispositivo di scarico automatico costituito da un robot che scarica il blocco, rimuove le staffe di brasatura (che finiscono su un apposito tappeto) e lo carica su un sistema di trasporto automatico che ha il compito di smistare i pezzi sulle giuste macchine di collaudo e aggraffatura; queste operazioni possono essere automatiche per i blocchi che vengono aggraffati a comporre il radiatore completo su un'apposita macchina, oppure manuali, sia per i blocchi che vengono spediti in altri stabilimenti per l'aggraffatura, sia per alcuni radiatori aggraffati.

In questa fase si ha una prima valutazione di eventuali difetti estetici o funzionali individuabili con un controllo visivo, e questo controllo è esteso all'intera produzione per evitare di mandare al collaudo pezzi evidentemente non conformi. Infatti, anche nel caso della macchina di collaudo e aggraffatura automatica, il sistema di trasporto colloca i blocchi radianti su un tappeto, su cui un addetto può valutare eventuali difettosità macroscopiche prima dell'introduzione nell'impianto automatico.

La rilevazione della tipologia di difetto viene annotata su appositi fogli spunti che riportano delle causali di scarto standard, in particolare relative a difettosità dovute al processo di brasatura (altri difetti dovrebbero essere rilevati nelle fasi precedenti); è possibile osservare un esempio di foglio spunti post-brasatura nella Figura 4.3.

Denso Thermal Systems		FOGLIO SPUNTI BRASATURA RADIATORI (deltaP)																																						Stabilimento di Poirino	
MODELLO		OPERATORE										DATA										TURNO										T.L.									
RADIATORI RIBRASABILI / RIPARABILI																																								Tot	
Tubi rotti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Tubi schiacciati (Pavesino)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Perdita da fianchetto / collettore	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Perdita al delta P (Non trovata)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Perdita da cuspidi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Altri difetti riparabili/ribrasabili	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
RADIATORI NON RIBRASABILI / RIPARABILI																																								Tot	
Alella caduta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Alella collassata	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Alella con passo irregolare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Alella non saldata	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Alelle corte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Alella danneggiata da urti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Collettore danneggiato da urti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Difetti dimensionali/parallelismo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Fianchetto spostato/danneggiato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Impronta staffe eccessiva	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Residui di brasatura sul pacco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Tubi rotti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Tubi strappati	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Tubo ammassato/bollato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Perdita dopo Riparazione/Ribrasatura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Riparati/Ribrasati danneggiati	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Altri difetti non ribrasabili	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Totale radiatori BUONI												Totale da RIBRASARE																				Totale a ROTTAME									

Figura 4.3 : esempio di foglio spunti post-brasatura

4.1.4 Collaudo e finitura

Nella fase di collaudo, oltre al controllo visivo dei pezzi, si ha il vero e proprio controllo funzionale attraverso le prove al delta p, che stabiliscono in modo definitivo se il blocco radiante rispetta le specifiche di produzione o meno; se il processo prevede anche l'aggraffatura si effettua poi una prova su banchi ad elio sul radiatore completo.

È quindi chiaro che in questa fase vengono individuati, oltre a eventuali difetti estetici trascurati nelle fasi precedenti, tutti i possibili motivi di perdita nelle diverse zone del prodotto. Le perdite possono essere dovute a difetti di brasatura, danneggiamenti nel trasporto dei pezzi o nelle fasi di aggraffatura, o difetti nelle parti componenti il radiatore non individuati in fasi precedenti.

La rilevazione della tipologia di difetto viene annotata su appositi fogli spunti che riportano delle causali di scarto standard, in particolare nella fase di finitura relative a perdite durante il

collaudo e danneggiamenti vari (altri difetti dovrebbero essere rilevati nelle fasi precedenti); è possibile osservare un esempio di foglio spunti di finitura nella Figura 4.4

Denso Thermal Systems											Stabilimento di Poirino											
FOGLIO SPUNTI FINITURA RADIATORI																						
MODELLO		OPERATORE		DATA		TURNO		T.L.														
RADIATORI A ROTTAME											RADIATORI BUONI											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Perdita da brasatura tubi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Perdita da brasatura fianchetto		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
Perdita da aggraff. per impunità su guar.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Perdita guarnizione pizzicata		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
Perdita per fuossante nel collettore		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
Perdita aggraffatura ko		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131
Perdita per vasca porosa		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151
Perdita da vasca criccata in aggraff.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171
Vasca incompleta di stampaggio		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
Vasca danneggiata da urti		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211
Pacco danneggiato da urti		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231
Errore di aggraffatura		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251
Bocchettone sfilato ko		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271
Bocchettone deformato/incompleto		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291
Parallelismo / dimensionali		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311
Alette non saldate		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331
Alette corte / passo irregolare		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351
Alette cadute		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371
Danneggiamento da crimping		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391
Perdita da tubo a centro pacco		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411
Perdita da dado TOC		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431
Tubo bollato/ammaccato		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451
Perdite non individuate		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471
Radiatori non analizzati		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491
Totale radiatori a rottame dopo finitura												Totale radiatori buoni dopo finitura										

Figura 4.4 : esempio di foglio spunti di finitura

4.2 Causali di scarto

Ogni fase di lavorazione prevede quindi delle specifiche causali di scarto relative alle difettosità comunemente registrate nei diversi processi.

Indipendentemente dal momento in cui vengono rilevate, le cause di scarto vengono imputate alle tre fasi chiave del processo produttivo; ne consegue che le causali standard di scarto possono essere aggregate in tre grandi famiglie: assemblaggio, brasatura e finitura. Ognuna di queste fasi infatti può presentare difetti peculiari in base al tipo di lavorazione che viene eseguita. Si procede quindi con un'analisi delle principali causali di scarto riportandone una breve descrizione e un'immagine esemplificativa del difetto.

4.2.1 Scarto in assemblaggio

Le principali causali di scarto nella fase di assemblaggio sono legate a difetti dei componenti il pacco (quali tubi, alette, fianchetti e collettori) oppure a errori nel processo di costruzione del

blocco che implicano danneggiamenti dello stesso. Alcuni difetti risultano riparabili, quindi in questi casi si preferisce riprocessare il pezzo cercando di ottenere un prodotto conforme, piuttosto che scartarlo direttamente; ci sono invece difetti che risultano non riparabili, quindi implicano lo scarto a rottame direttamente, separato nei diversi componenti negli appositi cassoni.

Aletta corta (riparabile)

Questa tipologia di difetto si verifica quando nel processo di produzione dell'aletta questa si presenta più corta della sua dimensione nominale. Entro certi limiti, che saranno esposti nel paragrafo 4.3, questa difettosità è accettabile; nell'esempio della Figura 4.5 il difetto non è accettabile, sia per la numerosità di alette corte, sia per l'entità del sottodimensionamento.

Questo difetto risulta comunque riparabile entro certi limiti se individuato a monte della brasatura, è possibile riprocessare il pezzo sostituendo manualmente le alette corte con componenti con le corrette dimensioni.

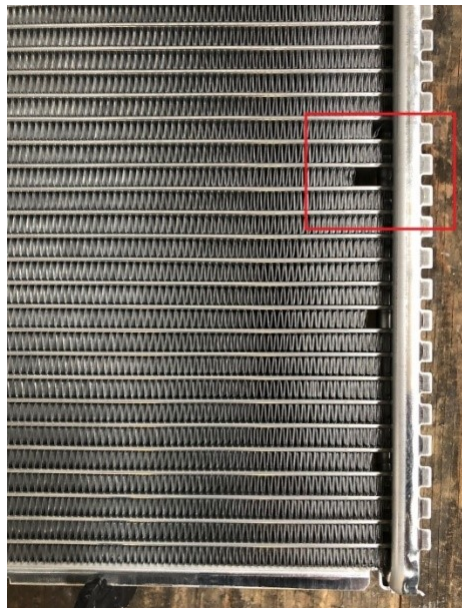


Figura 4.5 : aletta corta

Aletta pizzicata (riparabile)

Questo difetto si verifica quando in sede di assemblaggio in genere un'aletta viene pizzicata tra tubo e collettore nella fase di piantaggio di questo elemento; l'aletta viene quindi deformata e

portata fuori dalla sua sede, come si può notare nella Figura 4.6. Se questo difetto viene individuato prima della brasatura risulta riparabile, riprocessando il pezzo attraverso la sostituzione manuale dei componenti danneggiati.

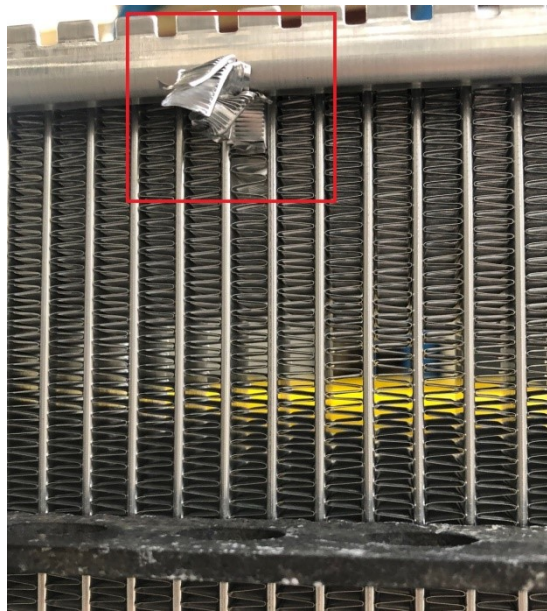


Figura 4.6 : aletta pizzicata

Errato inserimento del fianchetto (riparabile)

Anche questo difetto si verifica nella fase di piantaggio del collettore, in questo caso si ha un'errata realizzazione dell'accoppiamento per interferenza che è presente tra inserto laterale del fianchetto e foro sul collettore, che può portare a deformazioni dei componenti. Se l'errato inserimento non conduce a deformazioni anomale della zona del collettore è possibile semplicemente sostituire il fianchetto manualmente per riparare il difetto e procedere alla successiva brasatura.



Figura 4.7 : errato inserimento del fianchetto

Errata svasatura tubo (riparabile)

È un difetto che sorge nella fase in cui il blocco radiante è stato assemblato e si ha l'operazione di svasatura dei tubi. Il punzone che effettua questa operazione va a forzare il tubo in maniera non corretta e ne provoca la deformazione a livello dell'asola del collettore, questo può generare problemi in brasatura in quanto la luce tra tubo e asola risulta eccessiva e lo spazio non può essere colmato, inoltre in esercizio si potrebbero verificare problemi relativi alla circolazione del fluido.

Questo difetto risulta riparabile se l'errata svasatura non provoca deformazioni o danneggiamenti dell'asola sul collettore, il pezzo può essere riprocessato sostituendo il tubo non conforme.

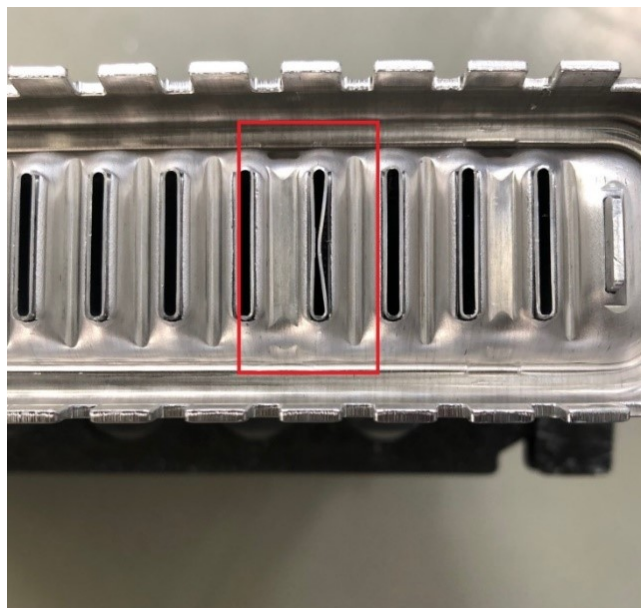


Figura 4.8 : errata svasatura dei tubi

Tubo non piantato (riparabile)

È un difetto che insorge nella fase di inserimento del collettore; nella fase in cui viene inserito questo componente uno o più tubi non correttamente posizionati possono andare a urtare la struttura del collettore invece di andare a realizzare l'accoppiamento con la relativa asola. Se non risultano danneggiamenti del collettore è possibile riparare il difetto riprocessando il pezzo, sostituendo i tubi e le alette compromessi dal tubo mal piantato.

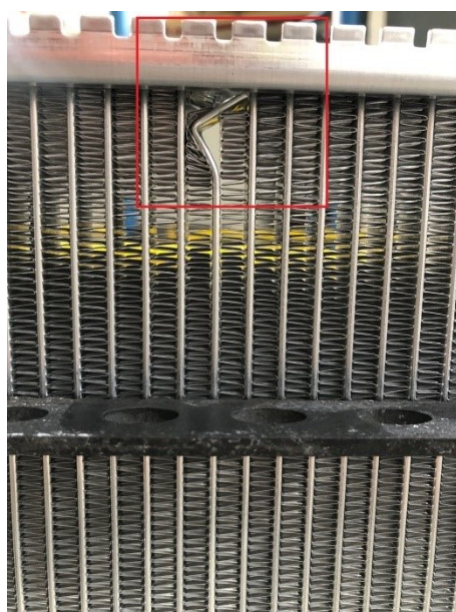


Figura 4.9 : tubo non piantato

Tubo rotto

Se il tubo non è stato rotto nelle fasi di produzione e posizionamento può capitare che nel forzamento in fase di inserimento dei collettori alcuni tubi vengano premuti contro le strutture del collettore subendo una deformazione e una rottura. Questa tipologia di difetto non è riparabile, quindi provoca lo scarto dell'intero blocco prodotto.

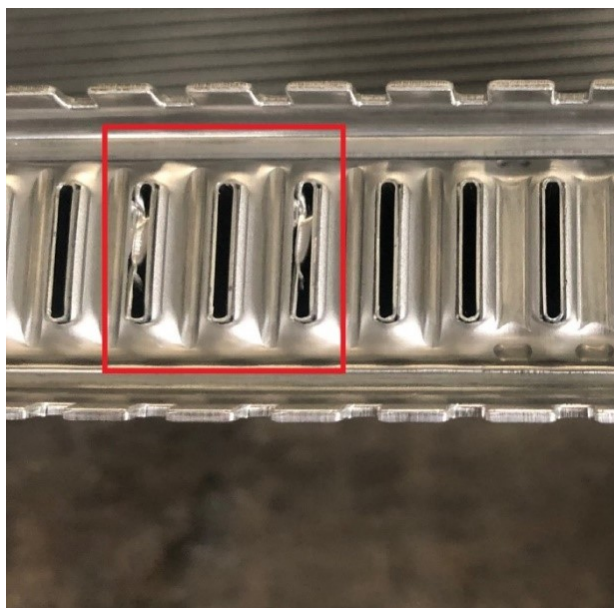


Figura 4.10 : tubi rotti

Pacco esploso

Nella formazione del pacco di tubi e alette si possono avere delle compressioni irregolari sulla macchina che possono portare il pacco a esplosione; i tubi e le alette si disgregano completamente prima della fase di inserimento dei collettori. Questa problematica provoca lo scarto di tutto il materiale utilizzato nella composizione del blocco radiante, ad eccezione dei collettori.

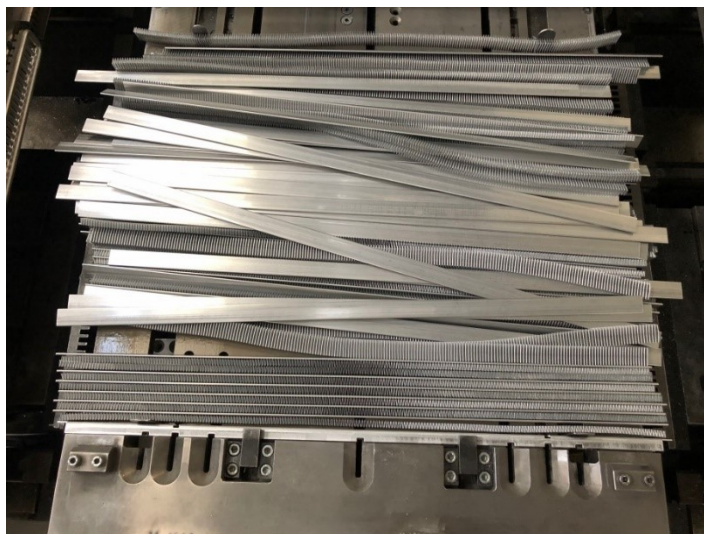


Figura 4.11 : pacco esploso

4.2.2 Scarto in brasatura

Le principali causali di scarto nella fase di brasatura sono legate alla non completa saldatura tra le parti nel passaggio in forno, che provocano delle perdite alla prova dei blocchi al delta p; sono poi presenti eventuali difetti non rilevati nella precedente fase di assemblaggio, che in genere comportano problemi dimensionali o di parti non correttamente assemblate; infine si rilevano difettosità intrinseche al processo del forno di brasatura, quali presenza di impronte eccessive delle staffe o danneggiamenti del pacco e presenza di residui di brasatura o di flussante.

Anche in questo caso per alcune tipologie di difetto è possibile riprocessare il blocco radiante tornando a brasarlo; si sceglie questo procedimento quando i blocchi radianti si presentano visivamente e a livello dimensionale conformi, ma non superano il collaudo al delta p manifestando piccole perdite, in questi casi si preferisce effettuare un secondo processo di brasatura piuttosto che rottamare subito il pezzo. Nella maggior parte dei casi questo processo ha esito positivo, evitando di scartare pezzi che non presentano difetti macroscopici.

Perdite da cuspidi o da pozzetti non riempiti

Effettuato il processo di brasatura, tipiche causali sono legate alle perdite dovute a una non completa brasatura che fa venir meno la tenuta stagna del componente; nel caso di perdite da cuspidi il difetto è legato a un'errata scordonatura della saldatura del tubo, nel caso di pozzetti

non riempiti restano dei piccoli fori nell'unione tra tubi e asole del collettore, in genere per una mancanza di materiale d'apporto in quella zona.

Nel caso di tubi di tipo folded, si può verificare anche un altro tipo di perdita, che avviene nella zona del nasello, dove si genera una mancanza di materiale di apporto in brasatura.

Queste tipologie di difetti sono in genere riparabili se si effettua nuovamente il processo di brasatura, quando è possibile rilavorare il prodotto.

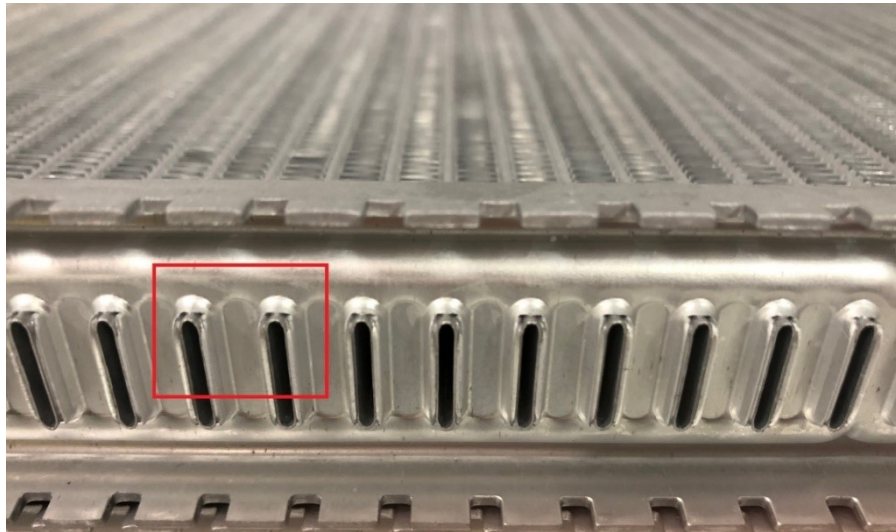


Figura 4.12 : perdita da cuspidi

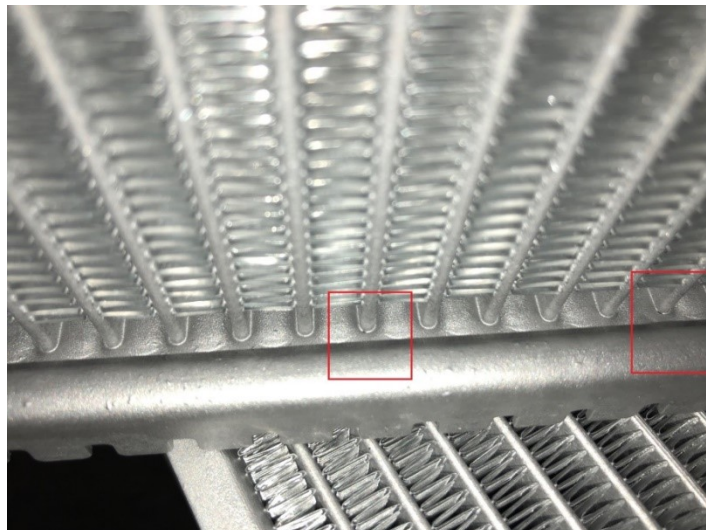


Figura 4.13 : perdita da pozzetti non riempiti

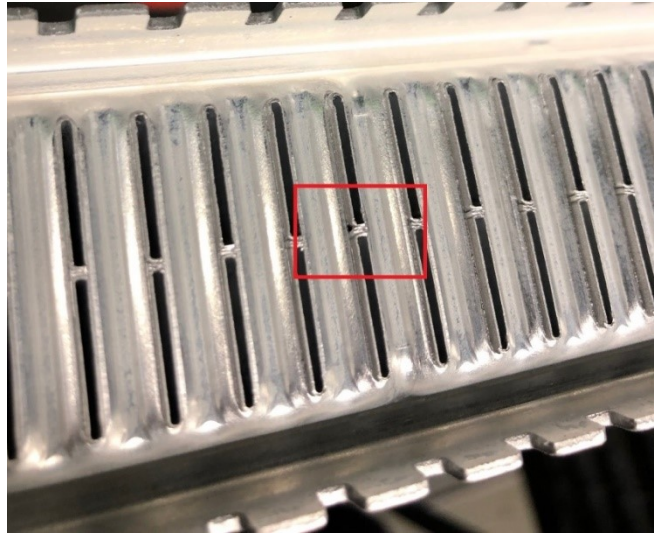


Figura 4.14 : perdita da nasello per tubi folded

Difetti legati alle alette

Le alette sono un componente delicato dei blocchi radianti, e sono soggette ad alcuni difetti caratteristici che si possono ritrovare dopo il processo di brasatura. Questi difetti possono essere raggruppati secondo le seguenti tipologie:

- Aletta caduta: una o più alette possono fuoriuscire dal blocco radiante rispetto al suo piano caratteristico; questo fenomeno viene spesso riscontrato sulla prima aletta (quella che dovrebbe essere saldata al fianchetto) e in particolare nelle zone estreme (all'angolo del blocco radiante). Questo può essere dovuto a un'insufficiente compressione del pacco da parte delle staffe di brasatura, che fa sì che nelle fasi di movimentazione e trasporto le vibrazioni provochino la fuoriuscita delle alette dalla corretta posizione che era stata garantita dall'assemblaggio.
- Aletta collassata: anche questo fenomeno si riscontra tipicamente sulla prima aletta, e consiste in uno schiacciamento sostanzialmente uniforme dell'aletta stessa, che viene deformata e inclinata invece di mantenere la posizione attribuita dall'assemblaggio. Anche questo difetto è causato da un'errata compressione del pacco da parte delle macchine, che risulta eccessiva e porta al collasso di un'aletta.
- Aletta con passo irregolare: è un difetto costruttivo in cui si ottiene un'aletta che non è regolare, quindi invece di avere un passo costante, come ci si aspetterebbe da questo componente, si ha un passo che può essere solo in parte o completamente irregolare; inoltre si distinguono alette con onde a contatto (più problematiche) o alette senza onde

a contatto, che entro certi limiti, che saranno discussi nel paragrafo 4.3, possono anche essere tollerate.

- Aletta non saldata: si riscontra una mancanza di saldatura tra un'aletta e un tubo o tra aletta e fianchetto; questi difetti in generale sono dovuti a una mancanza di compressione del blocco radiante al momento della brasatura. Ne consegue che spesso questo problema è legato al posizionamento delle staffe di brasatura, che anche in presenza di un corretto assemblaggio, nelle fasi di trasporto e movimentazione possono spostarsi dalla loro sede per le vibrazioni e far venire meno la sufficiente compressione del blocco.

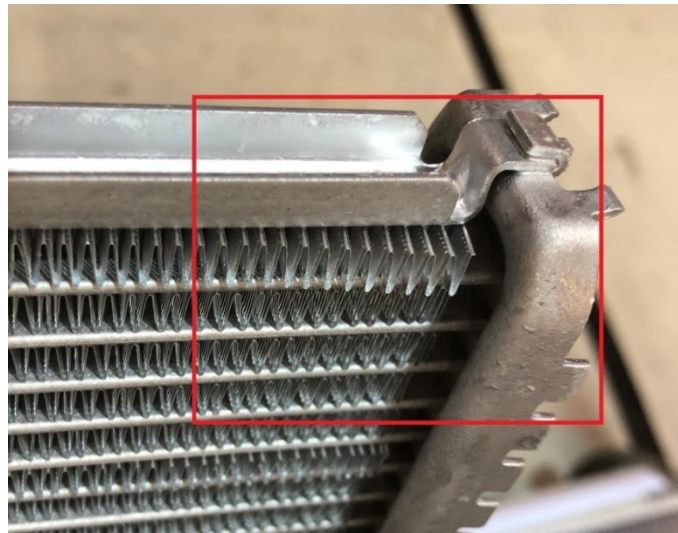


Figura 4.15 : aletta caduta

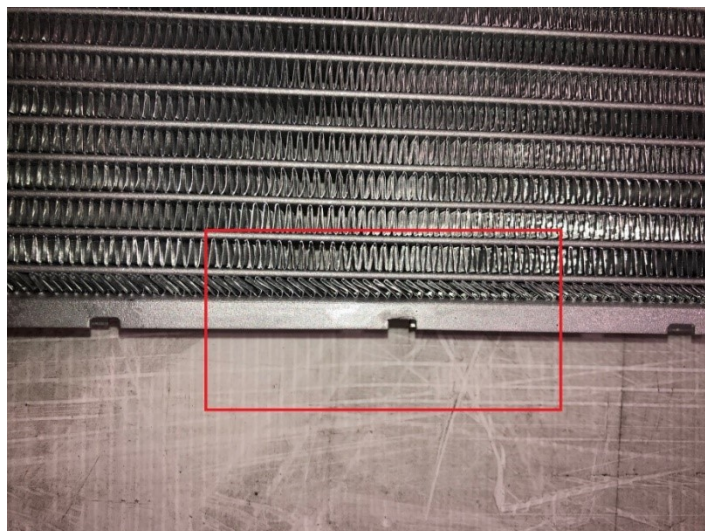


Figura 4.16 : aletta collassata

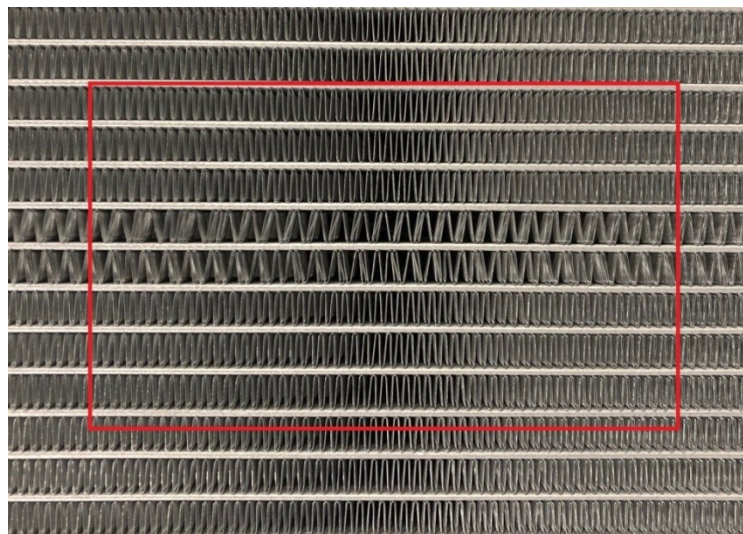


Figura 4.17 : aletta con passo irregolare

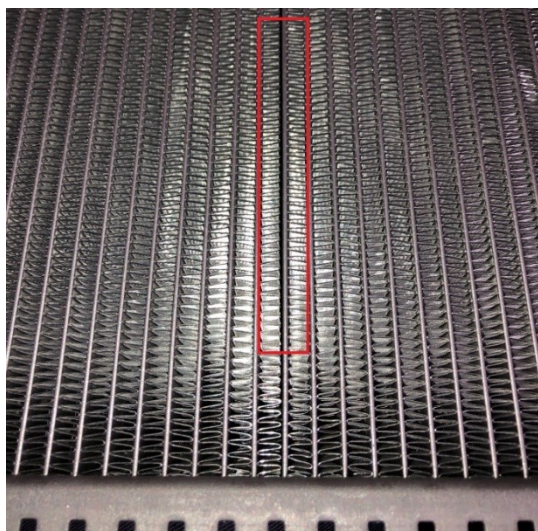


Figura 4.18 : aletta non saldata a centro pacco

Difetti legati al fianchetto

I fianchetti sono componenti importanti nella fase di brasatura, in quanto trasferiscono la compressione delle staffe all'intero blocco; l'accoppiamento con le staffe è garantito da appositi scansi ricavati nella struttura del fianchetto stesso, ma si possono verificare casi in cui un non corretto posizionamento, per le stesse cause viste per le alette, provoca due tipologie di difetto: il fianchetto spostato e il fianchetto non saldato.

Per quanto riguarda quello spostato, semplicemente non mantiene la sua posizione rispetto al piano del blocco radiante, e si trova quindi disassato una volta esaurita la brasatura, mentre nel caso di fianchetto non saldato la brasatura non può essere portata a termine perché le parti non

risultano sufficientemente avvicinate, quindi il metallo d'apporto non riesce a colmare la luce tra i componenti per capillarità.

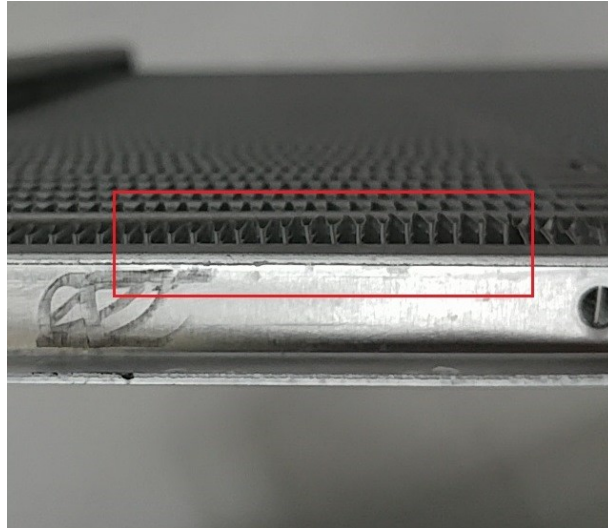


Figura 4.19 : fianchetto spostato

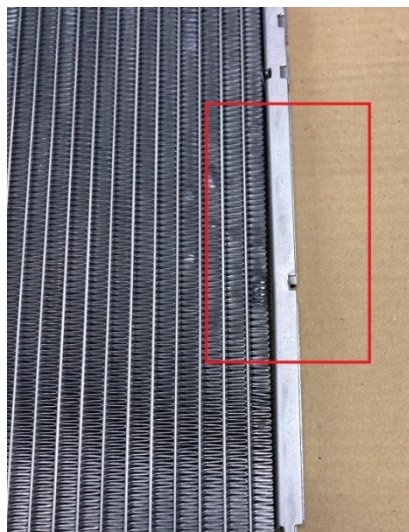


Figura 4.20 : fianchetto non saldato

Difetti legati alla brasatura

Esiste una famiglia di difetti peculiari del processo di brasatura, in particolare legata ai residui che il processo può lasciare sui blocchi radianti, a causa di inclusioni di materiali non idonei nel processo stesso, che a causa dell'alta temperatura possono essere carbonizzati e fissati sul pacco in strati che non possono più essere rimossi.

Un ulteriore danneggiamento che si può avere in brasatura è costituito dallo “strappo” del tubo, in cui la staffa va a stretto contatto con il tubo e riscaldandosi in forno va a fondere ed erodere il materiale del tubo stesso, provocandone nei casi peggiori la foratura.

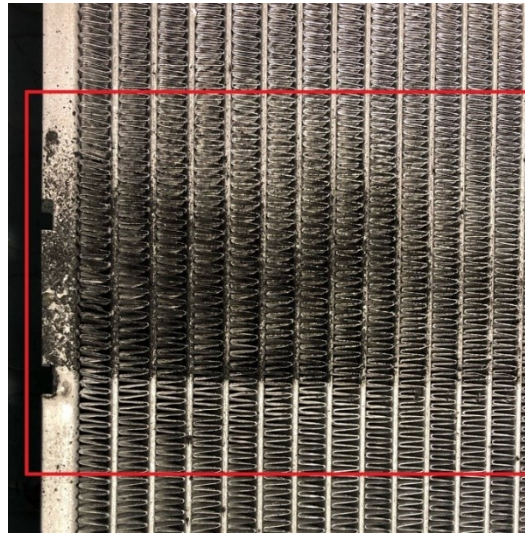


Figura 4.21 : residui di brasatura sul blocco radiante

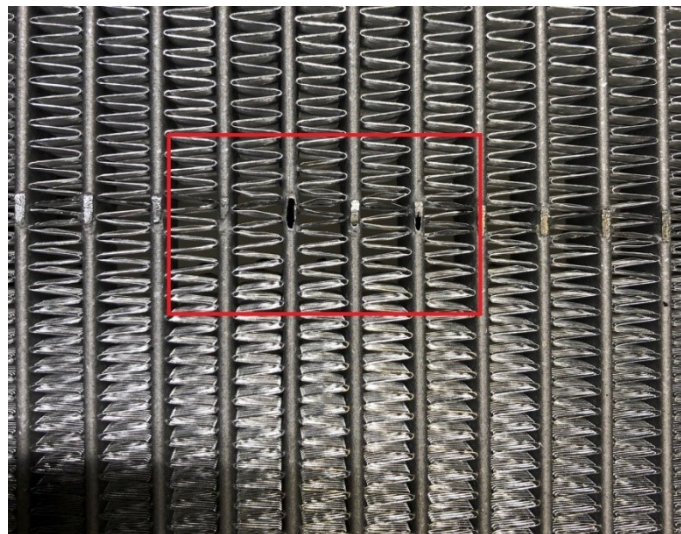


Figura 4.22 : tubi strappati dalle staffe

Danneggiamenti

Una consistente quantità di scarto di blocchi radianti è causata da danneggiamenti di varia natura, che possono avvenire nelle fasi di movimentazione e trasporto, sia di tipo manuale che automatici a opera di robot e nastri trasportatori, oppure nelle fasi di collaudo al delta p.

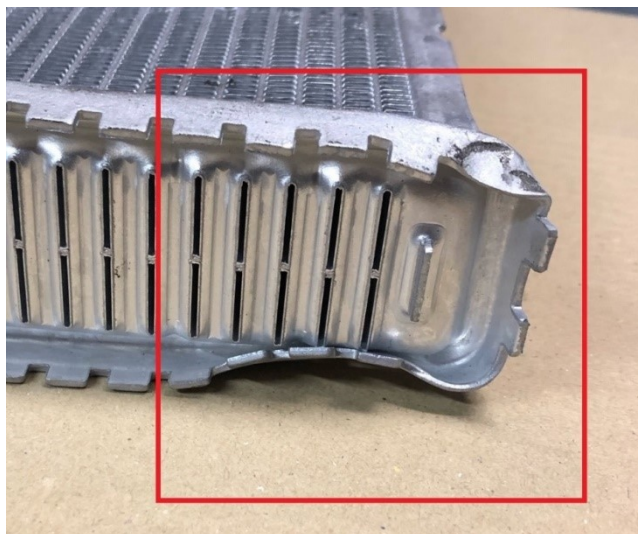


Figura 4.23 : collettore danneggiato da urti

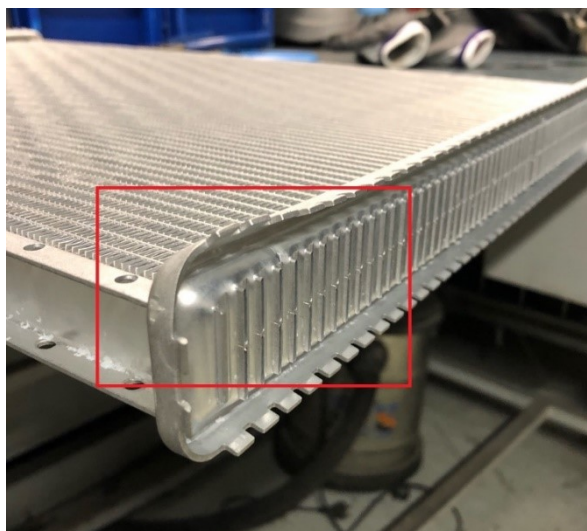


Figura 4.24 : collettore danneggiato da delta p

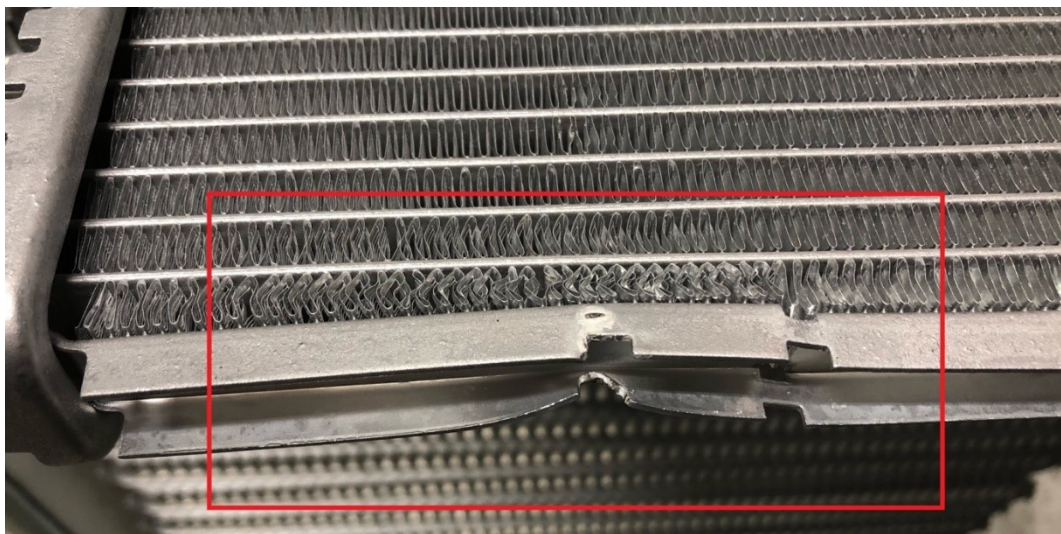


Figura 4.25 : fianchetto danneggiato da robot forno

4.2.3 Scarto in finitura

Le principali causali di scarto nella fase di finitura sono legate a danneggiamenti o errori durante il processo di aggraffatura, o perdite al collaudo causate da imperfezioni dovute alle fasi precedenti, è presente poi tutta una serie di danneggiamenti dovuti alla movimentazione e al trasporto dei materiali. In Figura 4.26 e Figura 4.27 sono presentati rispettivamente un difetto di aggraffatura non conforme e un fianchetto danneggiato (con conseguente compressione delle alette) nella movimentazione su macchina automatica di collaudo e aggraffatura.

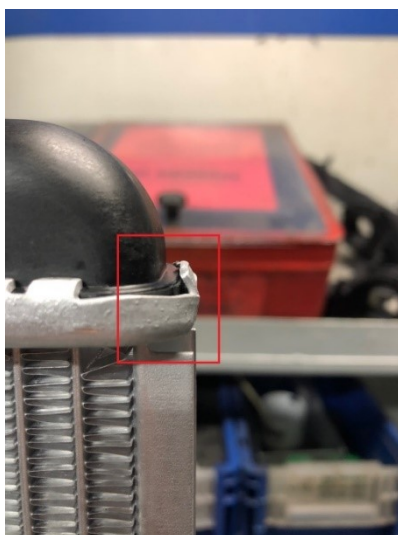


Figura 4.26 : aggraffatura non conforme

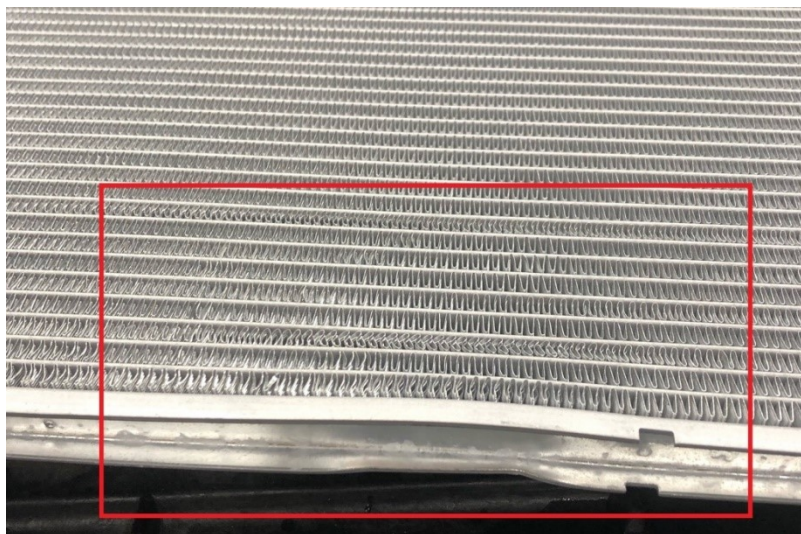


Figura 4.27 : danneggiamento da movimentazione

4.3 Limiti di accettabilità sui difetti estetici dei radiatori

Nonostante la presenza di difetti sui blocchi radianti, questi in alcuni casi possono avere natura solo estetica, ne consegue che dal punto di vista funzionale il pezzo risulta conforme.

Per evitare la generazione di pezzi di scarto funzionalmente conformi sono stati definiti dei limiti di accettabilità per alcuni difetti, in modo da effettuare una discriminazione più fine dei pezzi accettabili e di quelli realmente da scartare. I difetti estetici accettabili sono legati principalmente alle alettature dei blocchi radianti; questo è dovuto al fatto che l'aletta è un componente particolarmente delicato e critico per il blocco. Si riportano quindi alcuni esempi di difetti considerati accettabili entro determinati limiti fissati dalla qualità di stabilimento.

Distanza aletta/collettore

La distanza tra collettore e aletta è una caratteristica geometrica critica del blocco radiante.

In Denso Thermal Systems si producono i radiatori con aletta a filo collettore, tuttavia si possono presentare casi di aletta “corta”; quando si verificano, la distanza tra aletta e bordo del collettore non deve essere superiore a 5 mm affinché il difetto risulti accettabile, come è possibile osservare nella Figura 4.28.

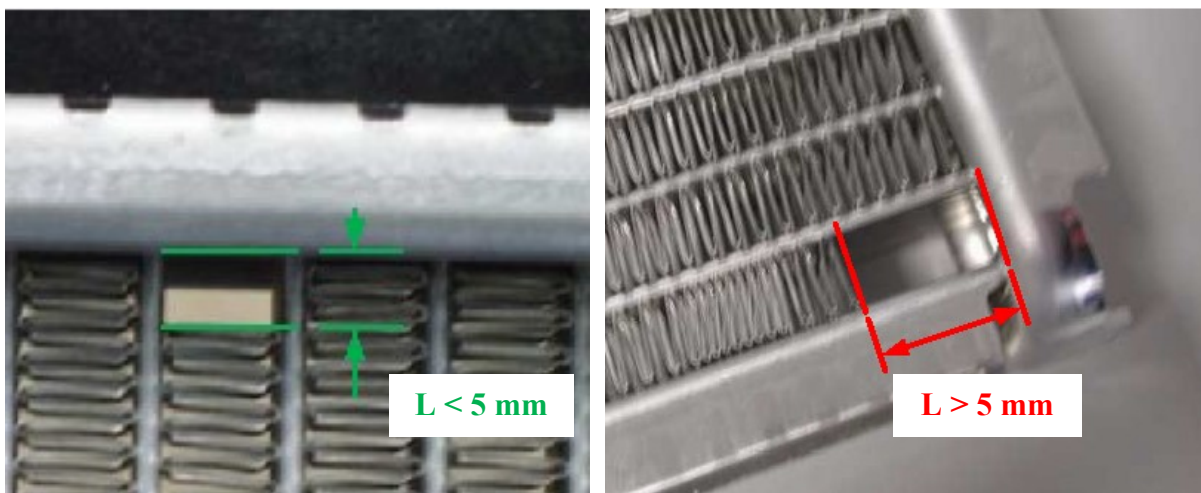


Figura 4.28 : confronto tra aletta corta accettabile (a sinistra) e non accettabile (a destra)

All'opposto, nel caso in cui l'aletta risulti eccessivamente lunga, si può presentare una condizione di contatto tra l'aletta stessa e il collettore, osservabile nella Figura 4.29; questa condizione risulta in ogni caso non accettabile, anche se si presenta su una sola aletta nell'intero blocco.

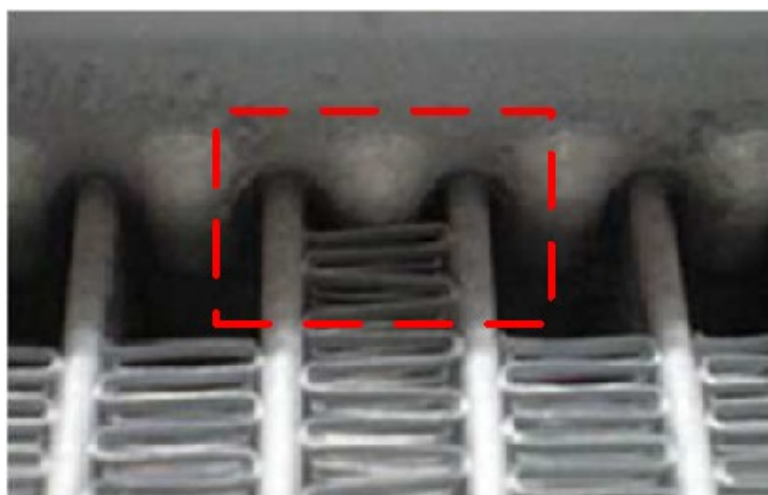


Figura 4.29 : aletta a contatto con il collettore (non accettabile)

Un ultimo limite in fatto di alettature è il numero massimo di alette corte che si possono accettare in un singolo blocco radiante, fissato a tre. A tal proposito il blocco visibile nella Figura 4.30 non risulta accettabile, presentando un numero eccessivo di alette corte, oltre ad alcune alette che non rispettano il criterio di massima distanza dal collettore di 5 mm.

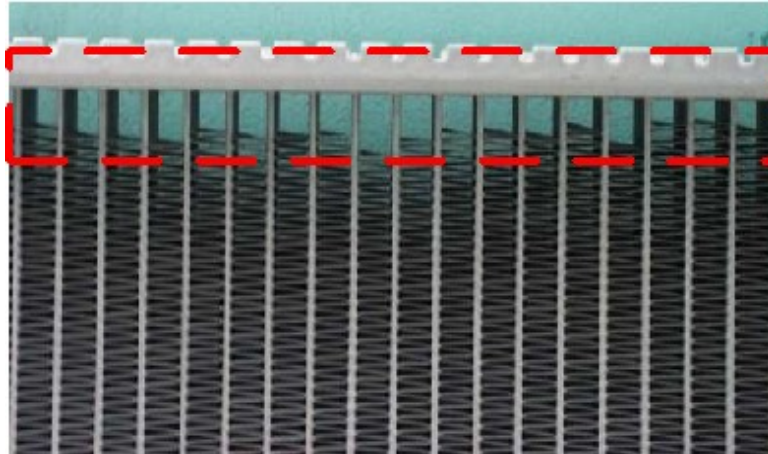


Figura 4.30 : numero eccessivo di alette corte (non accettabile)

Alette con passo irregolare

Un'altra grande famiglia di difetti legati alle alettature è quella delle alette che presentano un passo irregolare, ossia una distanza tra onde successive non regolare sulla lunghezza dell'aletta; questo tipo di difetto è accettabile quando al più tre alette in un blocco radiante risultino avere passo irregolare, com'è possibile osservare nella Figura 4.31.



Figura 4.31 : blocco con una sola aletta a passo irregolare (accettabile)

Non sono accettabili invece i particolari casi di aletta con passo irregolare che implicano:

- alette con onde successive a contatto (osservabili nella Figura 4.32);
- alette tirate negli angoli (osservabili nella Figura 4.33);
- alette che presentano “buchi” all'interno del blocco (osservabili nella Figura 4.34).

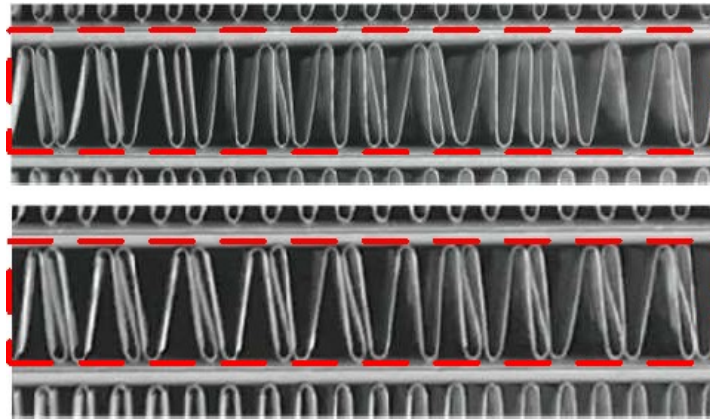


Figura 4.32 : aletta con onde successive a contatto (non accettabile)

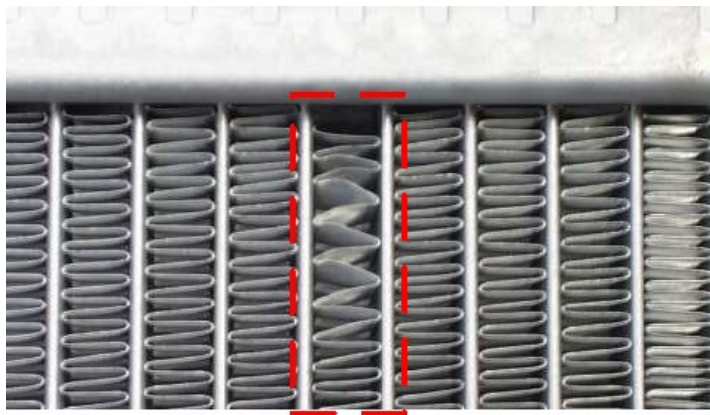


Figura 4.33 : aletta tirata negli angoli (non accettabile)

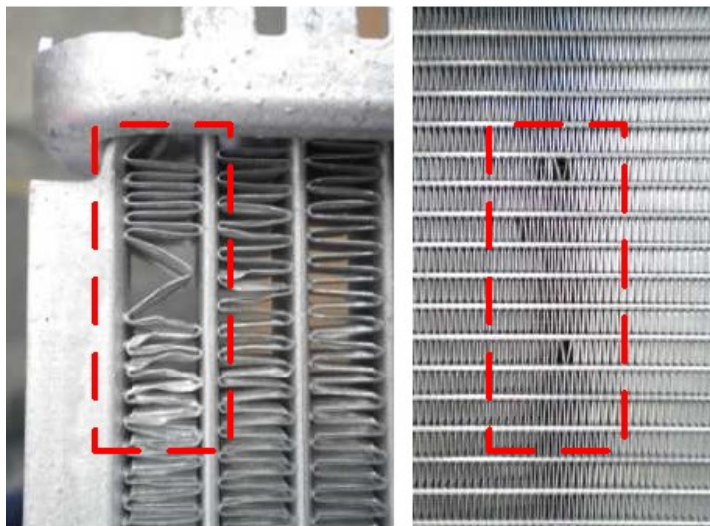


Figura 4.34 : alette con "buchi" (non accettabili)

Aletta ammaccata

Essendo l'aletta un componente piuttosto delicato, è facile che si presentino casi di ammaccatura, dovuti principalmente alla movimentazione e al trasporto dei materiali. Il difetto è essenzialmente estetico, per questo motivo risulta accettabile se la lunghezza dell'ammaccatura è inferiore a 20 mm. Inoltre, è fissato un numero massimo di tre alette ammaccate non consecutive, affinché il blocco non sia scartato; nella Figura 4.35 è riportato un esempio di ammaccatura non accettabile perché troppo estesa.

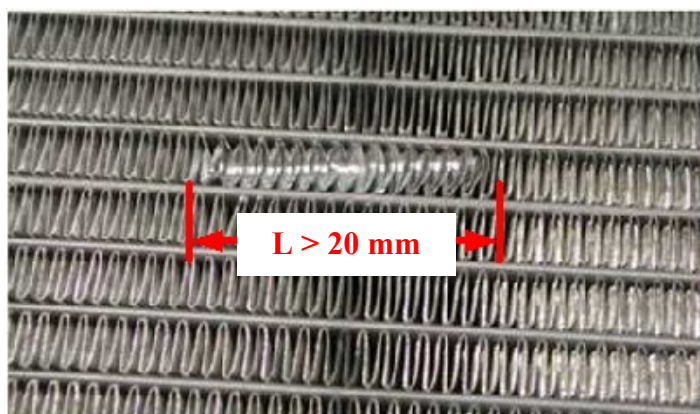


Figura 4.35 : aletta con ammaccatura troppo estesa (non accettabile)

Aletta caduta

L'ultima tipologia di difettosità per cui vengono stabiliti dei limiti di accettabilità è quella delle alette cadute, che escono in parte dalla loro sede, spostandosi rispetto al piano del blocco radiante. Si distinguono in particolare due casi:

- Alette cadute negli angoli: queste cadute si verificano all'estremità dell'aletta, in prossimità del collettore, negli angoli del blocco radiante; il difetto è accettabile solo se è limitato a un angolo, per una lunghezza non superiore a 15 mm, con una fuoriuscita massima dell'aletta rispetto al piano del blocco di 3 mm. È possibile osservare le dimensioni limite nella Figura 4.36, che presenta un'aletta caduta nell'angolo non accettabile.

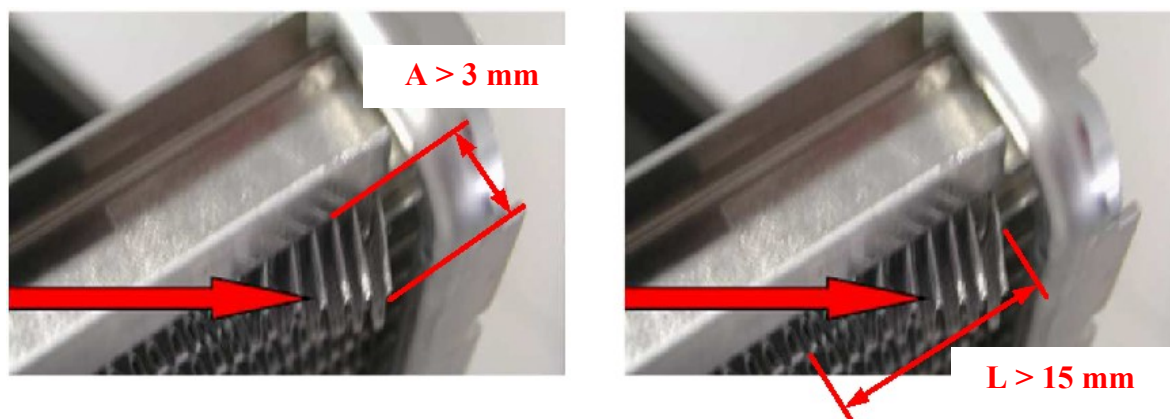


Figura 4.36 : aletta caduta nell'angolo non accettabile

- Alette cadute rispetto al fianchetto o al tubo: queste cadute si verificano nella zona centrale della lunghezza dell'aletta; il difetto è accettabile solo se è limitato a due zone del blocco radiante, per una lunghezza non superiore a 60 mm, con una fuoriuscita massima dell'aletta rispetto al piano del blocco di 2 mm. È possibile osservare le dimensioni limite nella Figura 4.37, che presenta un'aletta caduta rispetto al fianchetto o al tubo non accettabile.

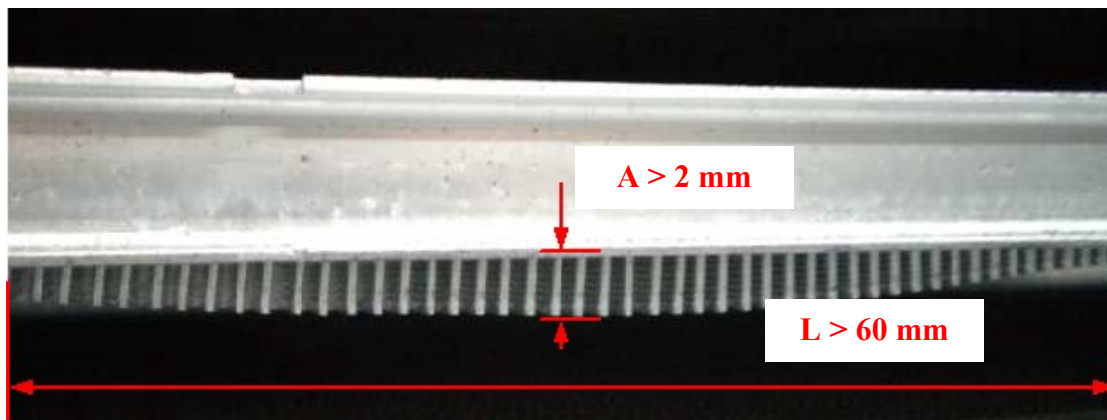


Figura 4.37 : aletta caduta rispetto al fianchetto non accettabile

4.4 Aggregazione dei dati di scarto

I dati raccolti secondo le modalità descritte nel paragrafo 4.1 vengono caricati in due database: il primo è relativo alle quantità scartate espresse in kg e fa riferimento alla pesatura dei cassoni provenienti dalle varie macchine presenti in stabilimento, il secondo invece è dedicato alla

qualità dei prodotti scartati e fa riferimento alle causali di scarto provenienti dai fogli spunti delle varie fasi del processo produttivo.

A questi database fanno riferimento dei file di calcolo che permettono la visualizzazione dei dati in modo aggregato attraverso grafici riassuntivi, e consentono di scegliere la tipologia di dato che si vuole valutare (ad esempio è possibile scegliere la base temporale, oppure la macchina o il modello a cui si è interessati).

4.4.1 *Quantità di scarto*

I dati relativi alle quantità scartate sono aggregati in diversi grafici che riportano i pesi misurati dei cassoni in kg (e i costi corrispondenti); i dati vengono aggiornati su base giornaliera, in particolare i grafici estrapolati sono:

- costo del materiale di scarto per impianto di produzione;
- quantità del materiale di scarto per prodotto finito;
- costo di materiale di scarto per prodotto finito;
- quantità mensile di materiale di scarto;
- costo mensile del materiale di scarto;
- quantità giornaliera di materiale di scarto;
- costo giornaliero del materiale di scarto;
- quantità giornaliera di materiale di scarto suddivisa per turno;
- costo giornaliero del materiale di scarto suddiviso per turno;
- costo del materiale di scarto per famiglia di componenti (collettore, tubo, aletta, blocco radiante e radiatore finito).

I dati possono essere filtrati su basi temporali in termini di anno, mese, settimana, giorno e turno, oppure in relazione alla famiglia di componenti, alla famiglia di prodotti finiti e agli impianti utilizzati nella produzione.

Si riportano a titolo esemplificativo alcuni grafici relativi alle quantità di materiale scartato riferiti all'anno solare 2019 per l'intero reparto di produzione dei radiatori.

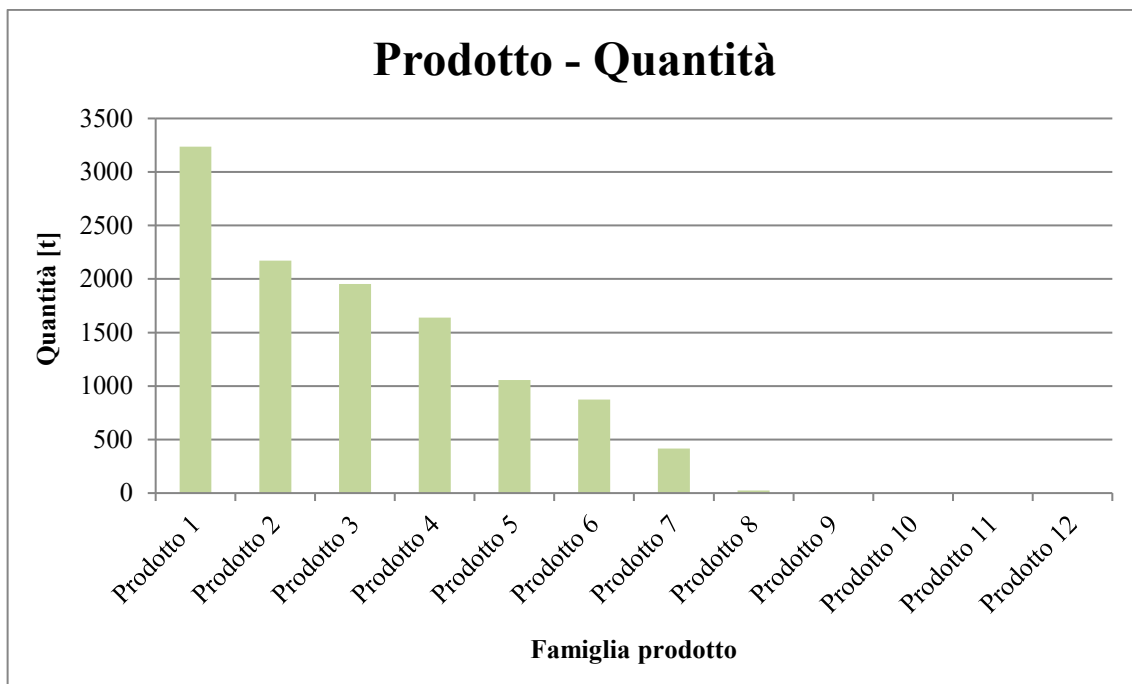


Figura 4.38 : quantità di scarto in t per famiglia di prodotto finito (blocco radiante)

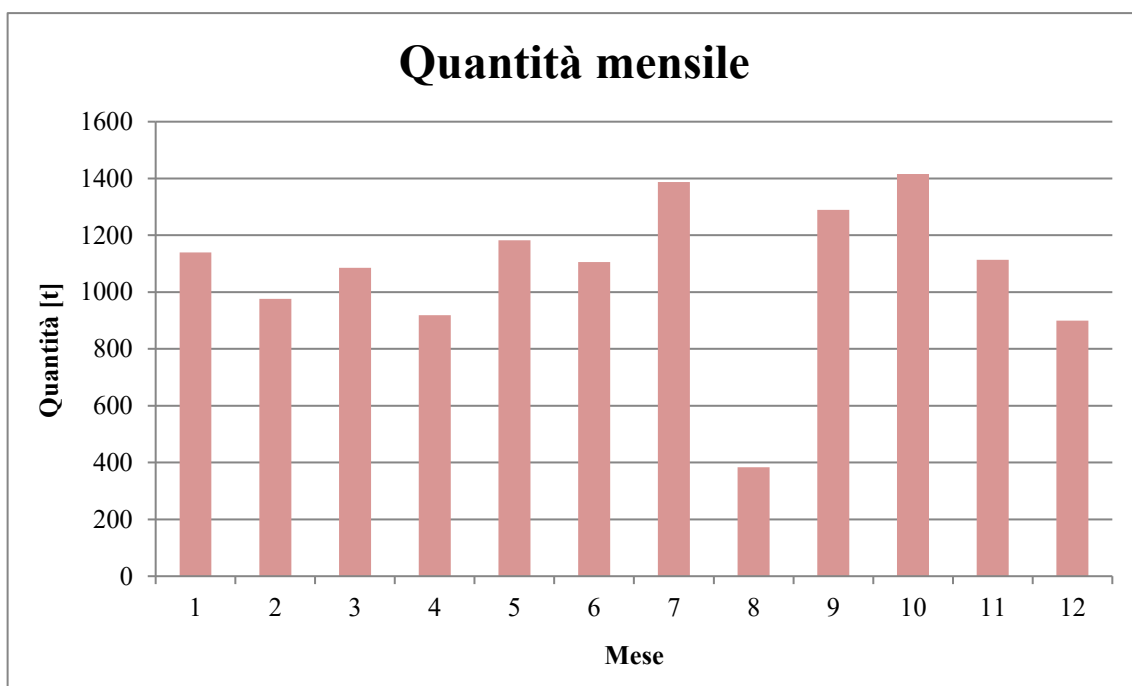


Figura 4.39 : quantità mensile di scarto in t

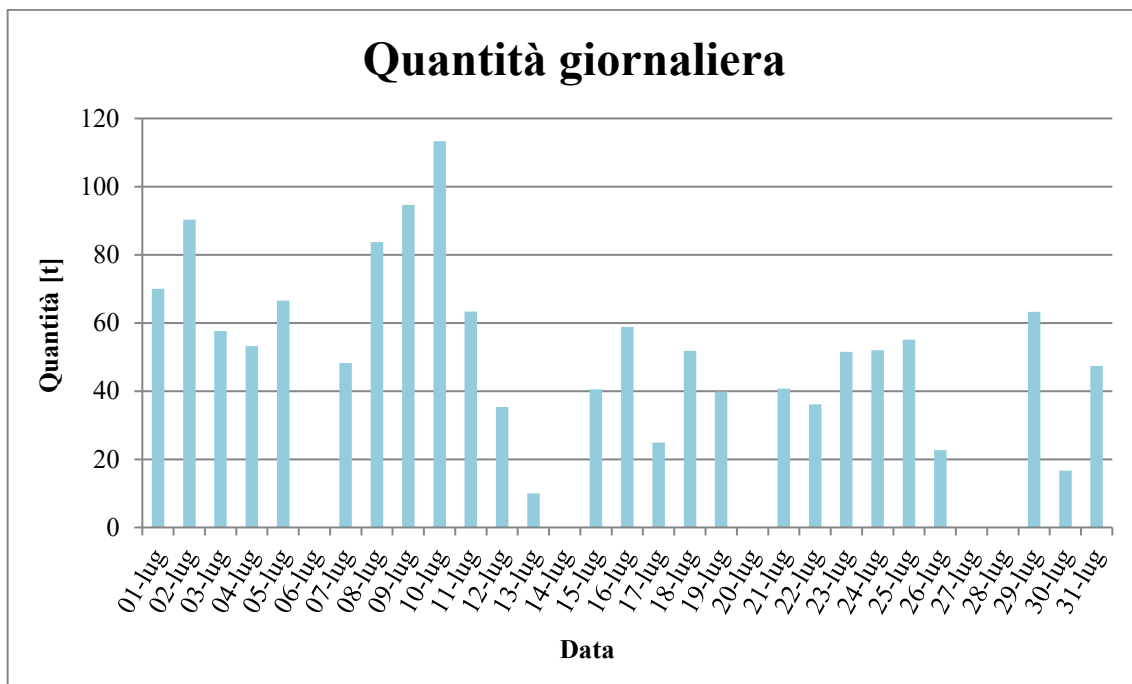


Figura 4.40 : quantità giornaliera di scarto in t riferita al mese di luglio 2019

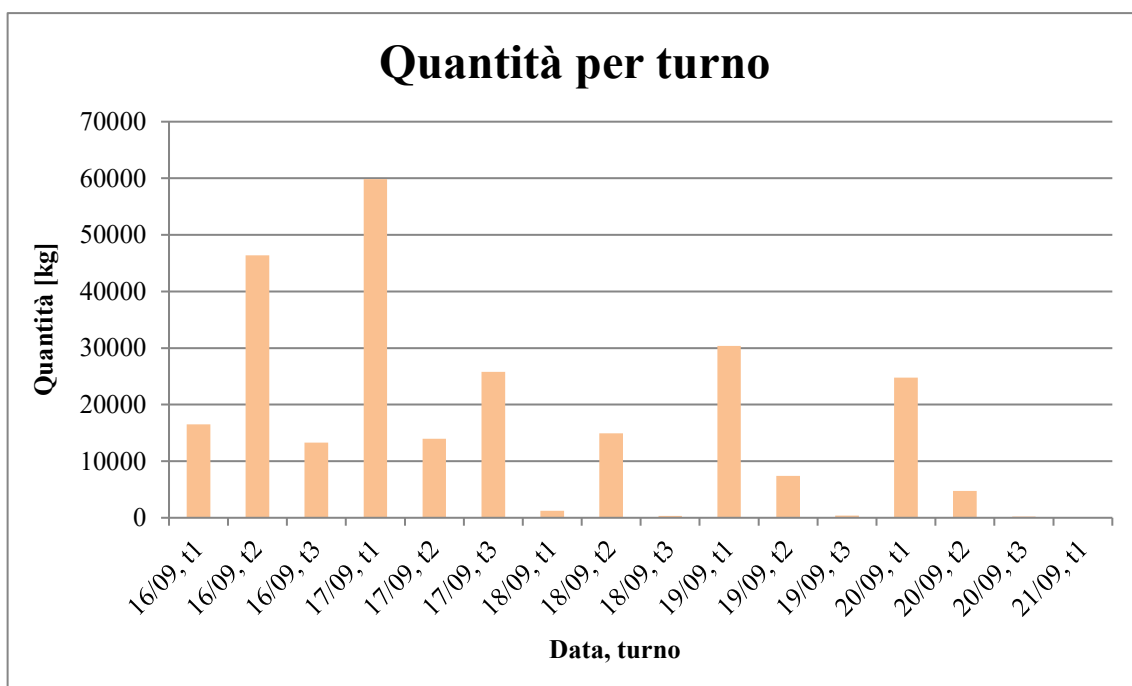


Figura 4.41 : quantità di scarto per turno in kg riferita alla settimana 16-21 settembre 2019

4.4.2 Indicatori e valutazione qualitativa dello scarto

Nello stabilimento di Poirino esiste una specifica procedura per il rilievo e la raccolta dei dati relativi alla qualità di semilavorati e prodotti finiti processati in stabilimento; i dati provenienti dai fogli spunti delle tre fasi di assemblaggio, brasatura e finitura vengono caricati alla fine di ogni turno in un database, da cui vengono estrapolati indicatori e grafici utili alla valutazione dell'andamento della produzione.

A differenza del rilievo quantitativo descritto nel paragrafo 4.4.1, non è possibile filtrare i dati per singolo impianto produttivo, in quanto questi sono aggregati in relazione alle tre fasi in cui lo scarto è rilevato, e per componente, in quanto in questo caso si contano i pezzi in termini di blocchi radianti (per le fasi di assemblaggio e brasatura) e di radiatori finiti (per la fase di finitura); resta invece possibile filtrare i dati rispetto a tutte le basi temporali, dall'anno (qui inteso come anno fiscale, con inizio ad aprile e fine a marzo) fino al singolo turno, e rispetto al prodotto finito a cui fanno riferimento.

Si riportano quindi alcuni esempi dei grafici che è possibile estrapolare con una breve descrizione dei parametri e degli indicatori di interesse per la valutazione della produzione.

Percentuale di scarto

La percentuale di scarto è l'indicatore più interessante per valutare la produzione dal punto di vista della quantità di materiale processato non conforme alla qualità; infatti, considerata la varietà di prodotti fabbricati, con caratteristiche anche molto diverse, la semplice quantità in termini assoluti di materiale scartato non dà un'informazione precisa sulla bontà della produzione e della sua gestione.

Questo indicatore è definito come il rapporto tra la quantità di pezzi scartati e la quantità di pezzi totali processati su una determinata base temporale.

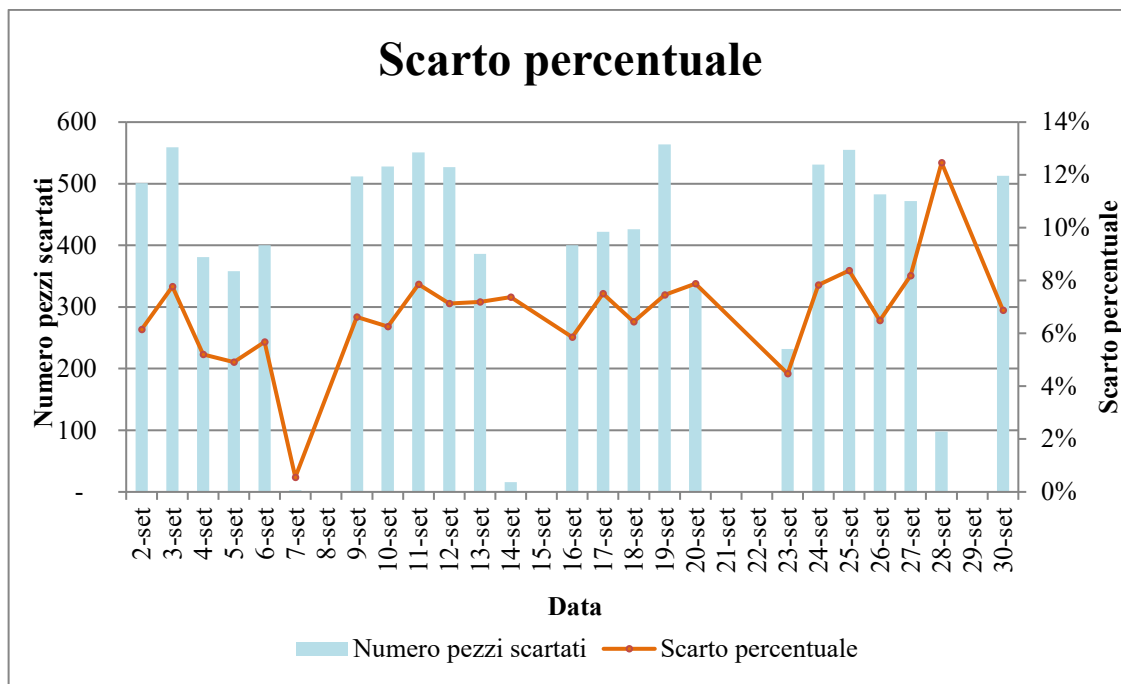


Figura 4.42 : scarto percentuale relativo al mese di settembre 2019
per l'intero reparto di produzione dei radiatori

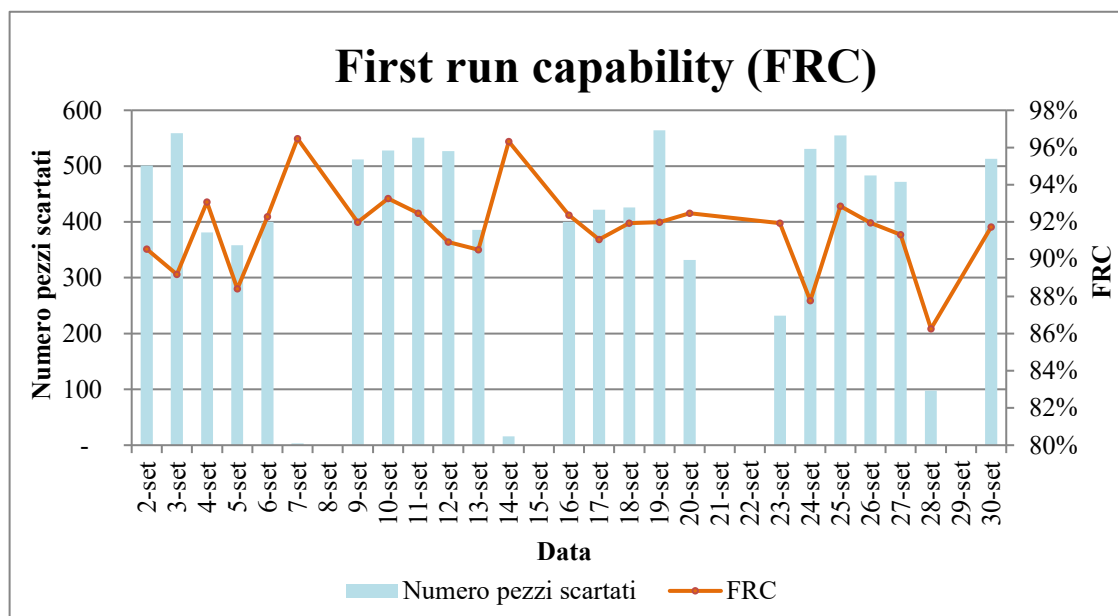
Con riferimento alla Figura 4.42 si rilevano parametri relativi all'intero reparto di produzione dei radiatori nelle tre aree di rilevazione, con una base temporale che per facilità di visualizzazione è stata ristretta a un mese di produzione (settembre 2019); il grafico riporta due scale, una relativa al numero di pezzi scartati e una relativa allo scarto percentuale. È possibile quindi osservare come non sempre l'andamento relativo di quantità e percentuale sia lo stesso, ad esempio tra il 26 e il 27 settembre si rileva un calo del numero di pezzi scartato (da 483 a 472) coincidente con una crescita dell'incidenza percentuale di circa 1,5%; ciò è negativo perché, considerata la definizione dell'indicatore, una crescita della percentuale a fronte di una diminuzione della quantità di pezzi scartati implica la presenza di una diminuzione molto più marcata della quantità di pezzi conformi.

FRC (First Run Capability)

Un ulteriore indicatore utile a valutare la produzione è la cosiddetta *first run capability* (FRC), che è definita come il rapporto tra la quantità di pezzi conformi prodotta al primo processo e la quantità totale di pezzi processati. Questo indicatore quantifica la capacità di fabbricare pezzi conformi al primo passaggio in produzione, evitando inutili e costose rilavorazioni che si

ripercuotono negativamente sul complesso dei processi produttivi e che nella realtà non sempre consentono di recuperare una quantità numericamente importante di pezzi conformi.

Occorre inoltre considerare che la rilavorazione di pezzi è possibile solo nelle fasi di assemblaggio e brasatura, non in quella di finitura.

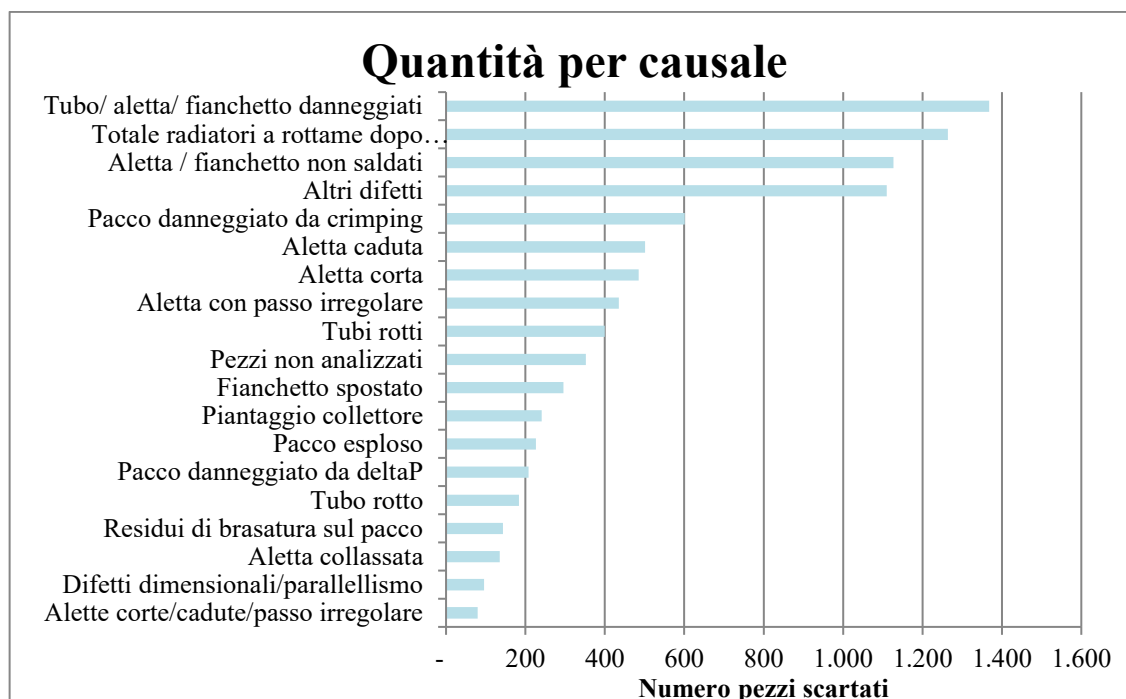


*Figura 4.43 : FRC relativa al mese di settembre 2019
per l'intero reparto di produzione dei radiatori*

Quantità di pezzi scartati per causale

Dall'analisi dei dati provenienti dai fogli spunti si estrapola un'informazione importante su quali siano le causali che provocano una maggior incidenza sulla quantità di scarto; ciò permette di intraprendere azioni mirate con l'obiettivo di ridurre lo scarto dovuto a queste causali.

Il grafico presentato nella Figura 4.44 riporta le più rilevanti causali di scarto relative al mese di settembre 2019; una causale importante quantitativamente ma che non fornisce informazioni sufficienti è quella relativa agli "altri difetti", che indica la presenza di non conformità dei pezzi di cui non è stato possibile definire univocamente la causa. Altri difetti riscontrati in quantità consistente sono danneggiamenti o mancata saldatura dei componenti, oltre a blocchi radianti non conformi dopo la rilavorazione di brasatura e difettosità legate alle alette.



*Figura 4.44 : pezzi scartati per causale relativi a settembre 2019
per l'intero reparto di produzione dei radiatori*

Percentuale di scarto per causale

Questo grafico va a fornire un ulteriore livello di dettaglio rispetto alle informazioni fornite da quello rappresentato nella Figura 4.44; infatti mette in correlazione la quantità di pezzi scartati per una data causale con il contributo che questa porta alla percentuale di scarto complessivo su una determinata base temporale. Anche in questo caso il contributo in termini percentuali fornisce un'informazione migliore rispetto alla semplice quantità per causale, perché consente di valutare l'incidenza di una determinata difettosità sulla percentuale totale di scarto prodotta; inoltre consente di avere dati su una base temporale e offre la possibilità di effettuare considerazioni a livello di andamento nel tempo.

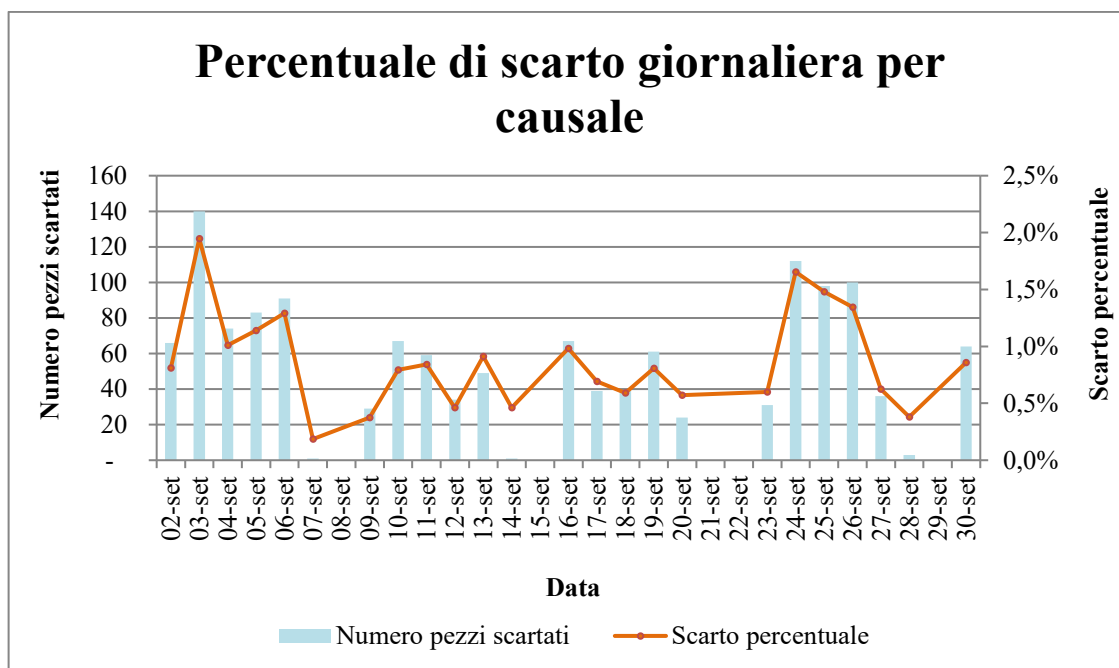


Figura 4.45 : percentuale di scarto per la causale “Tubo/aletta/fianchetto danneggiati” relativa a settembre 2019 per l'intero reparto di produzione dei radiatori

Con riferimento alla Figura 4.45, è stata selezionata la causale più consistente per quantità (vista nella Figura 4.44), quella da danneggiamenti dei componenti, per valutarne l'incidenza in termini di quantità e percentuale di scarto sul totale. Per fare questo è possibile effettuare un confronto con il grafico complessivo presentato nella Figura 4.42: considerando per esempio la data del 6 settembre, a fronte di una quantità e una percentuale di scarto complessivi rispettivamente di 400 pezzi e del 5,7%, i danneggiamenti dei componenti hanno un'incidenza di 91 pezzi e dell'1,3%; ne consegue che l'incidenza sul totale dello scarto di questa causale è stimabile in circa il 23% per la giornata selezionata.

Percentuale di scarto per causale in base alla famiglia di prodotto

L'ultima tipologia di grafico che viene generata è relativa a quantità e percentuale di scarto per causale a livello di famiglia di prodotto, con l'obiettivo di comprendere se determinati prodotti presentino criticità peculiari legate a causali specifiche.

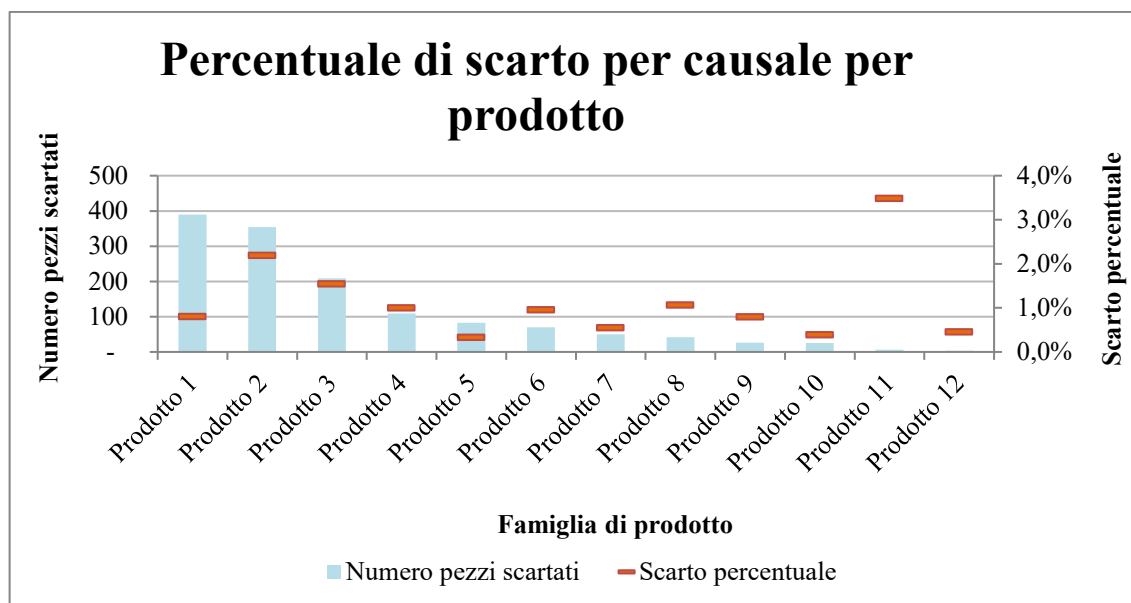


Figura 4.46 : percentuale di scarto per la causale “Tubo/aletta/fianchetto danneggiati” relativa a settembre 2019 per l'intero reparto di produzione dei radiatori in base alla famiglia di prodotto

Anche in questo caso, con riferimento alla Figura 4.46, è stata selezionata la causale più consistente per quantità (vista nella Figura 4.44), quella da danneggiamenti dei componenti, per valutarne l'incidenza in termini di quantità e percentuale di scarto per famiglia di prodotto.

Ad esempio, è possibile osservare che, relativamente a questa causale per il mese di settembre 2019, le famiglie di “prodotto 1” e “prodotto 2” presentano una quantità di pezzi scartata simile, rispettivamente di 390 e 354 pezzi, a fronte di un'incidenza percentuale piuttosto diversa, rispettivamente dello 0,8% e del 2,2%.

Un caso particolare è rappresentato dalla famiglia di “prodotto 11”, in cui a fronte di pochi pezzi prodotti e contestualmente pochi scartati, l'incidenza percentuale di questa causale è molto elevata; ciò lascia supporre che per questa famiglia di prodotto la causale presa in considerazione risulta piuttosto critica.

5 Il miglioramento di processo e la riduzione dello scarto

In questo capitolo si vanno ad analizzare alcuni progetti di miglioramento del processo e riduzione dello scarto che si collocano in un'ottica di lean manufacturing. Gli obiettivi fondamentali di questi progetti, oggetto di questa tesi, sono:

- Minimizzazione delle scorte: considerata l'odierna rapida evoluzione delle produzioni, lo stoccaggio in stabilimento di grandi quantità di materiali è una componente di rischio; inoltre avere grandi stock può porre dei problemi di qualità, in quanto se si individua un problema a posteriori su un lotto di prodotto, è possibile che questo debba essere rottamato per intero, mettendo in gioco grandi quantità di scarto.

Si tende quindi a una minimizzazione dei materiali stoccati, cui consegue anche una riduzione degli spazi necessari soprattutto per gli stock di magazzino e una maggior facilità di gestione dei materiali, con un'impostazione di gestione che consente anche di avere una tracciabilità dei componenti prodotti, migliorando la qualità. È comunque impossibile arrivare a scorte tendenti a zero perché si rende necessario accordare macchine e lavorazioni che presentano cadenze produttive differenti.

- Riduzione dello scarto: le quantità di materiali di scarto costituiscono un importante voce di costo per le realtà produttive; in un'ottica di ottimizzazione, sia di qualità che economica, si tenta di ridurre lo scarto con azioni su diversi fronti.

In primo luogo si vuole tendere a una rilevazione il più possibile dettagliata e puntuale, per raccogliere dati che consentano di avere strumenti decisionali in grado di stabilire quali siano le priorità da affrontare; in secondo luogo, si vorrebbe che questa rilevazione fosse per quanto possibile in tempo reale, aspetto complesso da realizzare, ma che consentirebbe di individuare problemi di scarto nelle fasi iniziali della loro generazione invece che a posteriori, quando ormai in alcuni casi sono stati prodotti interi lotti, che finiscono rottamati; infine, si vogliono indagare le cause alla radice della produzione di materiale di scarto per individuarne gli aspetti preponderanti (modello produttivo, aspetti tecnologici, aspetti legati al progetto del prodotto).

Nei paragrafi seguenti vengono analizzate alcune di queste tematiche, affrontate durante l'attività di tirocinio in azienda, a partire dagli strumenti di analisi utilizzati fino ad arrivare alle azioni implementate per apportare alcuni miglioramenti al processo produttivo.

5.1 Material and Information Flow Diagram (MIFD)

Nell'ambito di un progetto di revisione e ottimizzazione dei flussi all'interno dei reparti, uno strumento lean utilizzato per l'analisi della situazione produttiva è stato il material and information flow diagram, la cui evoluzione è il value stream mapping, descritto nel paragrafo 3.3.

L'obiettivo di questo strumento di analisi è riportare su un unico diagramma e possibilmente su un unico foglio tutti i flussi, sia a livello di informazioni che di materiali, in maniera da comporre una prima “fotografia” della situazione di reparto; a partire dallo schema ricavato è possibile andare a identificare eventuali problematiche e valutare se sia possibile effettuare dei miglioramenti in termini di linearizzazione e ottimizzazione dei flussi. La conseguenza e scopo finale dell'utilizzo di tale strumento dovrebbe essere la riduzione dei lead time di attraversamento dei materiali a livello di reparto, ossia dell'intervallo di tempo che intercorre tra l'ingresso delle materie prime e l'uscita di un'unità di prodotto finito, in questo specifico caso con riferimento alla produzione dei radiatori.

Il lead time è considerato in questa analisi un indicatore di sintesi, in quanto un miglioramento di questo “tempo di attesa” ha come conseguenza anche il miglioramento di altri indicatori; questo può essere più chiaro se si considerano alcuni esempi:

- La produzione di componenti con difetti genera problemi di qualità, che provocano selezioni e rilavorazioni che aumentano i lead time, oltre agli scarti, quindi i costi.
- Impianti che lavorano in modo inefficiente generano perdite e problemi di sicurezza che possono allungare i lead time.
- Impianti che hanno tempi di cambio tipo più lunghi, che quindi implicano lead time maggiori, richiedono in genere la produzione di lotti più grandi, quindi spazi di immagazzinamento maggiori e uno sforzo logistico più consistente, e possono causare maggiori problemi di qualità.

Ne consegue che il raggiungimento dell'obiettivo di riduzione dei lead time porta naturalmente anche al miglioramento di altri indicatori, quali costi, OEE (overall equipment efficiency, indicatore di efficienza degli impianti), tempi di cambio tipo, flessibilità, sicurezza e qualità.

Nei paragrafi seguenti si forniscono alcuni dettagli su come si è giunti alla definizione del MIFD per il reparto di produzione dei radiatori (aggiornati a ottobre 2019) e sulle principali problematiche che questo ha permesso di individuare.

5.1.1 La matrice per l'identificazione dei flussi di materiale

Per identificare al meglio i flussi di materiale nel reparto di produzione dei radiatori è stata utilizzata una particolare matrice che permette di costruire le correlazioni tra le macchine utilizzate nelle diverse fasi del processo produttivo.

Le macchine presenti nel reparto vengono quindi suddivise in quattro differenti famiglie, sulla base del loro ruolo nel processo (descritto nel dettaglio nel capitolo 2):

- *Tube mill*: sono le macchine dedicate alla produzione dei tubi piatti per i radiatori.
- *Assemblatrici*: sono le macchine che in modo integrato producono le alette e compongono il blocco radiante, a cui vengono aggiunte le staffe per mantenerlo compatto.
- *Forni di brasatura*: sono i due forni a disposizione del reparto di produzione dei radiatori per la brasatura che unisce le parti del blocco radiante assemblato:
- *Macchine per l'assemblaggio finale (aggraffatura)*: si tratta di quattro banchi manuali e due linee automatiche di aggraffatura, che verificano la tenuta del blocco radiante, eventualmente montano le vasche sul radiatore e collaudano il prodotto finito.

Nella Figura 5.1 viene quindi presentata la matrice di correlazione tra le macchine presenti nel reparto di produzione dei radiatori, ricavata a partire da un'indagine del rapporto “fornitore-cliente” che intercorre tra queste.

			ASSEMBLATRICI										
			ASS_1	ASS_2	ASS_3	ASS_4	ASS_5	ASS_6	ASS_7	ASS_8	ASS_9	ASS_10	ASS_11
TUBE MILL	Tube mill 1	(backup)											
	Tube mill 2		x	x									
	Tube mill 3										x		
	Tube mill 4				x	x	x	x	x	x		x	x
FORNI	Forno_1		x	x									
	Forno_2				x	x	x	x	x	x	x	x	x

AGGRAFFATURA					
AG_1	AG_2	AG_3	AG_4	AUT_1	AUT_2
x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x

Figura 5.1 : matrice di correlazione tra le macchine presenti nel reparto di produzione dei radiatori

Con riferimento alla Figura 5.1, compresa la struttura della matrice, è possibile fare alcune osservazioni:

- In un'ottica di produzione snella il modello produttivo dovrebbe tendere al “one piece flow”, ovvero un sistema in cui un pezzo comincia la produzione e la continua linearmente fino ad uscire come prodotto finito, senza attese; questo sarebbe realizzabile se ogni macchina alimentasse una sola macchina della fase successiva del processo (ad eccezione al più dell'ingresso ai forni, per cui però occorrerebbe una gestione molto accurata della logistica). È chiaro che nel caso in esame questo non avviene, in generale ogni macchina ne alimenta diverse delle fasi successive.
- Considerata l'osservazione precedente, la situazione della tube mill 3 fino all'uscita del forno risulterebbe ideale, ma a questo punto il componente può andare su tutte le macchine di collaudo e aggraffatura, questo genera le problematiche già discusse.
- La tube mill 1 essendo datata viene utilizzata come macchina di riserva, nel caso in cui la tube mill 4 non riesca a garantire la capacità necessaria, si osserva infatti che quest'ultima risulta fornitrice di molti impianti di assemblaggio e risulta quindi la più critica dal punto di vista della saturazione; è poi previsto l'arrivo di una nuova macchina che andrà a coprire parte delle produzioni, bilanciando in maniera migliore l'assetto produttivo e limitando le suddette problematiche legate alla saturazione.
- La tube mill 2 fornisce solo due impianti di assemblaggio, poiché questi sono totalmente automatici, quindi elaborano grandi volumi produttivi, per lo stesso motivo a questi impianti è dedicato un forno di brasatura.

5.1.2 Il diagramma dei flussi di materiale

A partire dalla matrice di correlazione tra le macchine è possibile andare a comporre un primo schema semplificato di flussi per quanto concerne i materiali, sulla base del quale si andrà poi a comporre il diagramma complessivo.

Nella Figura 5.2 si riporta lo schema per i flussi del materiale, limitati al perimetro del solo reparto di produzione dei radiatori, quindi identificando in ingresso materiali con cui il reparto produce semilavorati (quali i coil per le tube mill) e in uscita i diversi flussi di prodotti finiti; le linee nere identificano flussi che avvengono esclusivamente all'interno del reparto, quelle rosse flussi che sono diretti alle spedizioni per i clienti esterni, quelle verdi flussi verso reparti interni

allo stabilimento (ad esempio il montaggio che utilizza i radiatori per l'assemblaggio di moduli di raffreddamento motore).

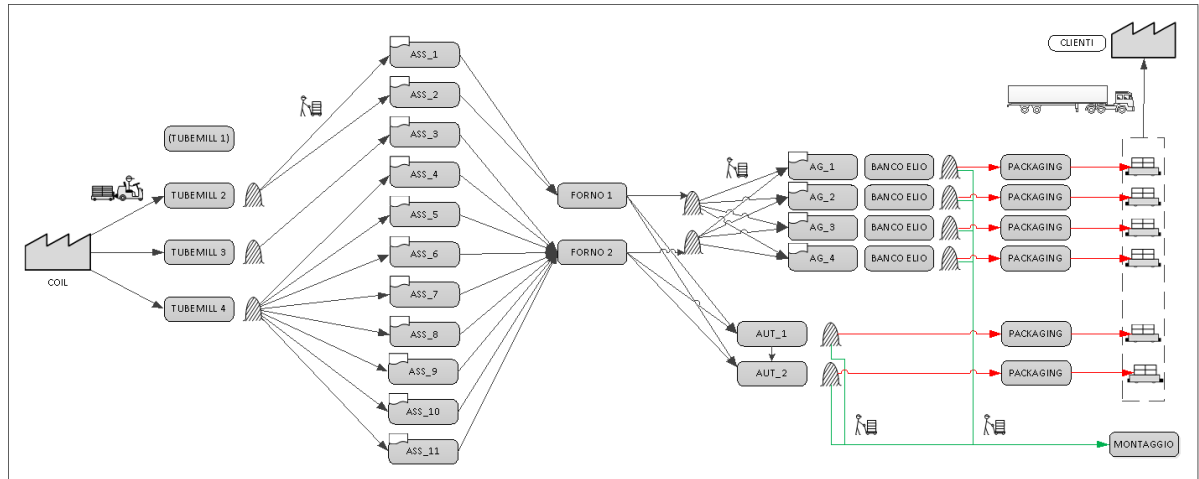
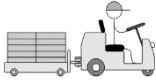
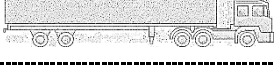
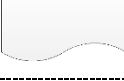


Figura 5.2 : schema semplificato dei flussi di materiale nel reparto di produzione dei radiatori

Per quanto concerne la simbologia utilizzata, se ne riporta una descrizione nella Tabella 5.1; gli stessi simboli verranno utilizzati nella composizione del MIFD complessivo.

Tabella 5.1 : simbologia utilizzata negli schemi MIFD

	Descrizione
	Magazzino esterno allo stabilimento, per il deposito di materie prime o prodotti finiti
	Trasporto del materiale con tradotta, piccola motrice guidata da un operatore che può avere agganciata una serie di carrelli
	Trasporto del materiale da parte di un operatore, che può essere un alimentatore dedicato oppure il team leader dell'area
	Area di accumulo e attesa del materiale (buffer) che serve ad accordare due diverse fasi del processo produttivo
	Carrello per il trasporto del materiale, che è caricato in quantità prevista dalla scheda imballo relativa allo specifico prodotto
	Staker, carrello con una conformazione specifica adatta a ospitare componenti che sono prelevati da macchine automatiche
	Area di stoccaggio del materiale strutturata in corsie, eventualmente accompagnata da un sistema di gestione (ad esempio Kanban)
	Area di stoccaggio suddivisa in corsie e su cui viene garantito il First-in/First_out (FIFO)
	Spedizione all'esterno dello stabilimento produttivo
	Individuazione di una problematica nel processo; ogni problematica viene numerata e descritta a valle della presentazione del MIFD
	Punti chiave del flusso delle informazioni tra le parti coinvolte nel processo produttivo e gestionale
	Centro del flusso di tutte le informazioni di programmazione e controllo/gestione della produzione
	Persone coinvolte nel flusso delle informazioni, che hanno quindi un ruolo nella gestione della produzione
	Linea continua: identifica flussi di materiali
	Linea tratteggiata: identifica flussi di informazioni

5.1.3 MIFD complessivo di reparto

Compresi i flussi di materiale è possibile andare a integrare in un unico schema anche i flussi di informazioni, ottenendo il material and information flow diagram complessivo di reparto, che consente poi di effettuare alcune valutazioni sulle problematiche con cui è necessario confrontarsi per rendere il flusso del processo più lineare ed efficiente, possibilmente cercando di evitare la presenza di lead time eccessivi.

Questo diagramma include anche tutte le interfacce con altri reparti produttivi, in termini di materiali e semilavorati che vengono forniti per la fabbricazione dei radiatori; quindi le problematiche individuate vanno a coinvolgere anche le eventuali criticità legate alla fornitura di materiali che possono avere conseguenze sul processo in esame.

Nella Figura 5.3 viene presentato lo schema complessivo ricavato in seguito all'analisi dei principali flussi e risorse coinvolte nel processo di produzione dei radiatori.

Con riferimento alla Figura 5.3 è possibile effettuare alcune precisazioni (non incluse all'interno del diagramma per non appesantirne la visualizzazione):

- Per quanto concerne la programmazione della produzione si effettua una MPS (*Master Production Schedule*) su base settimanale, con un piano esecutivo che viene lanciato il venerdì per la settimana successiva; è poi disponibile una previsione della produzione mensile su tre mesi, con dettaglio settimanale per il primo mese.
- L'utilizzo di carrelli specifici si rende necessario a valle della produzione di tubi, dove sono utilizzati i carrelli gialli (di cui un'immagine sarà visibile nella Figura 5.4), e stacker per alcune macchine di assemblaggio, e allo scarico del forno, perché il sistema di scarico automatico (che consiste in un robot per forno e un sistema di trasporto dedicato) al momento non riesce ancora a processare la quantità di pezzi brasati nei due forni.
- Per il carico del forno sono invece utilizzati dei *rack*, carrelli con 20 ripiani che vengono movimentati da un sistema di trasporto a navette e stoccati in un apposito buffer automatico antistante il sistema di carico automatico dei forni (costituito da due robot che prelevano i blocchi radianti dai carrelli e li introducono nei forni di brasatura).

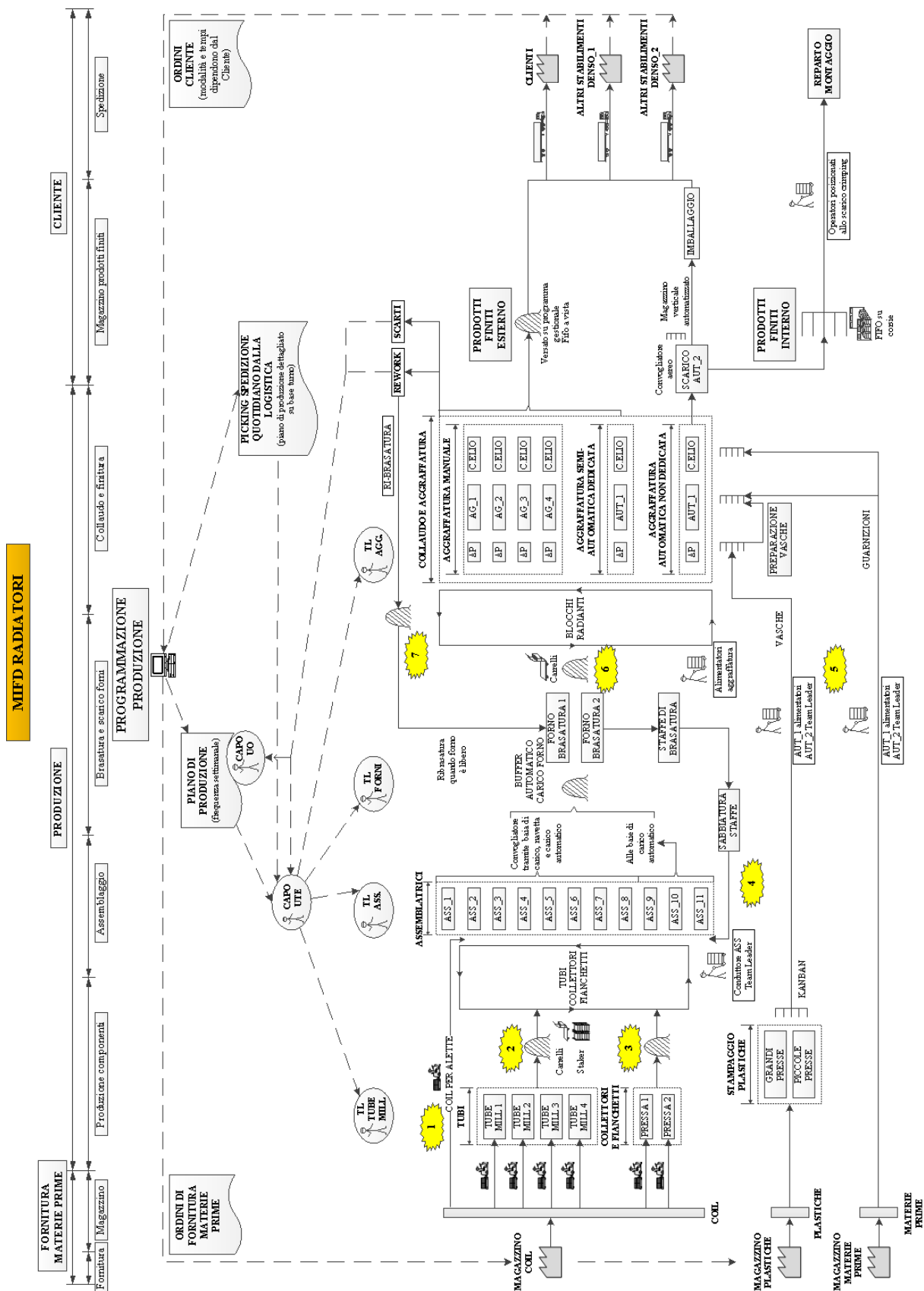


Figura 5.3 :MIFD complessivo per il reparto di produzione dei radiatori

Il diagramma presenta nella parte superiore una suddivisione orizzontale in tre macro aree, la fornitura di materie prime, ulteriormente suddivisa in fornitura in senso stretto e immagazzinamento, la produzione, che prevede le fasi descritte nel capitolo 2, e il cliente che prevede l'immagazzinamento di prodotti finiti e la successiva spedizione. Si nota poi una discriminazione sulla verticale di due zone, una superiore relativa al flusso delle informazioni e una inferiore relativa ai flussi di materiali.

È utile inoltre comprendere meglio il ruolo delle persone coinvolte nei flussi delle informazioni: la programmazione della produzione viene elaborata e controllata dalla funzione logistica dello stabilimento; c'è poi la figura del capo UO (Unità Operativa) che effettua una funzione di intermediazione e controllo dei piani ponendosi come interfaccia tra la programmazione della produzione e lo stabilimento produttivo, oltre a monitorare i feedback in termini di quantità prodotte, rilavorate e scartate. Le aree produttive dello stabilimento sono poi divise in unità più piccole, i singoli reparti, denominate UTE (Unità Tecnologica Elementare), che hanno un capo che effettua un monitoraggio su base turno della produzione, programmando a livello di reparto la gestione delle macchine e delle risorse. È poi presente una figura di interfaccia tra i capi UTE e gli operai, il team leader, che può programmare la produzione di una porzione di un reparto in base alla presenza di materiale stoccato e alle priorità, e può gestire l'alimentazione delle macchine.

Per semplicità di visualizzazione non sono state messe direttamente in correlazione le macchine che presentano delle interazioni, ma è possibile analizzare questo aspetto prendendo in considerazione parallelamente il MIFD complessivo di reparto e quello semplificato presentato nella Figura 5.2; risulta quindi chiaro come, soprattutto a valle dei forni di brasatura, i flussi non risultino lineari e presentino sovrapposizioni sulle macchine di collaudo e aggraffatura, come era stato possibile constatare anche dalla matrice di correlazione della Figura 5.1.

Si può quindi procedere a elencare e descrivere brevemente alcune delle criticità rilevate (indicate con l'apposito simbolo numerato sul diagramma):

1. Fornitura dei coil alle macchine di assemblaggio con tradotta parziale: si rilevano criticità nella gestione delle forniture delle bobine di lamiera utilizzate per la produzione delle alette, che non sempre viene effettuato con le apposite motrici e carrelli in maniera sincronizzata.
2. Buffer delle tube mill: l'area di deposito è solo parzialmente organizzata su corsie ma non dimensionate; questo impedisce di garantire il FIFO e la corretta gestione della

produzione, problema aggravato dal fatto che i carrelli sono depositati in tre aree diverse, non sempre adiacenti alla macchina dedicata alla produzione di uno specifico tubo.

3. Buffer dei componenti stampati: l'area di deposito è organizzata in corsie ma parzialmente non dimensionata e non gestita, con corsie che non presentano indicazione dei semilavorati contenuti e conseguente compresenza di prodotti diversi in una stessa posizione.
4. Assenza di tradotta per il rifornimento di staffe, collettori e fianchetti alle macchine di assemblaggio: il rifornimento è manuale da parte dei conduttori delle macchine di assemblaggio o dei team leader dell'area.
5. Criticità di organizzazione della gestione della fornitura di vasche e guarnizioni, con utilizzo parziale di tradotta e mancata sincronizzazione delle alimentazioni.
6. Buffer dei blocchi radianti brasati non gestito: il deposito non è organizzato per corsie e su layout di stabilimento, le unità di raccolta non sono standardizzate.
7. Buffer dei pezzi da rilavorare non gestito: il deposito di questi blocchi radianti da ri-brasare non è organizzato per corsie e su layout di stabilimento.

A partire dall'analisi effettuata componendo il material and information flow diagram è possibile comprendere come le principali criticità evidenziate siano legate a due differenti famiglie di problematiche: la prima è la gestione e il trasporto dei materiali di approvvigionamento per le macchine presenti nei reparti, problema in carico agli enti logistica e analisi lavoro, la seconda è relativa alla gestione degli stoccaggi di semilavorati all'interno dello stabilimento (buffer di processo), in carico all'ente produzione.

Nei paragrafi 5.2, 5.3 e 5.4 si descrivono le logiche alla base della gestione dei buffer di processo e il dimensionamento di due di queste aree presenti all'interno dello stabilimento.

5.2 I buffer di processo

I buffer di processo sono delle aree che costituiscono dei “magazzini” per semi-lavorati che devono essere utilizzati in altre lavorazioni internamente allo stabilimento; l'utilità principale di queste aree è quella di fornire una capacità di accumulo che possa accordare fasi del processo produttivo che presentano una cadenza diversa. Ad esempio, nel processo di produzione dei

radiatori, la produzione di tubi, collettori e fianchetti è più rapida delle operazioni di assemblaggio, ma viene effettuata con poche macchine che gestiscono più codici prodotto; nel caso della produzione dei tubi, quattro macchine gestiscono circa 25 tipologie di tubo diverse, quindi è impossibile produrre in tempo reale i tubi per tutte le undici macchine di assemblaggio presenti; nel caso della produzione di collettori e fianchetti, due presse producono tutti i componenti necessari. Risulta quindi evidente che le produzioni di semilavorati non possano essere effettuate alimentando in tempo reale le macchine di assemblaggio, e richiedano delle aree di stoccaggio interne dedicate.

I buffer di processo sono caratterizzati da corsie o in generale spazi dedicati ad un singolo componente, in cui vengono depositati contenitori standard (definiti “mezzi di raccolta”) adatti a ospitare i pezzi: nel caso dei tubi sono costituiti da carrelli gialli di dimensioni standard, nel caso di collettori e fianchetti da cassette impilate su appositi carrellini (comunemente chiamati trolley), visibili rispettivamente nella Figura 5.4 e nella Figura 5.5.



Figura 5.4 : carrello giallo per il trasporto dei tubi



Figura 5.5 : impilamento di cassette su carrello (trolley)

Dove possibile è interessante per motivi legati alla tracciabilità del prodotto implementare una logica FIFO (first in/first out): questa consiste nello strutturare il buffer in modo che siano presenti due distinti fronti, uno di versamento e uno di prelievo dei componenti; è quindi possibile avere dei criteri di versamento e prelievo che facciano sì che i primi pezzi prodotti siano anche i primi a essere prelevati. Questo è importante in quanto, quando i criteri di versamento/prelievo sono rispettati, se vengono individuati problemi di qualità è possibile risalire al lotto dei semilavorati coinvolti.

All'interno dello stabilimento esiste un'istruzione operativa per l'implementazione della logica FIFO per la gestione dei buffer di processo, che prevede alcune prescrizioni di carattere generale:

1. I mezzi di raccolta devono essere mantenuti puliti, e dove previsto dalla scheda imballo del componente contenuto, devono avere l'apposita busta di protezione.
2. Eventuali mezzi di raccolta o buste di protezione logorati devono essere eliminati e sostituiti.
3. Il materiale va introdotto nei mezzi di raccolta con attenzione per evitarne il danneggiamento o la deformazione.
4. Per ogni tipologia di mezzo di raccolta è prescritta una massima quantità di riempimento, definita dalla scheda imballo del componente; nel caso di cassette

sovrapposte, è in ogni caso necessario garantire la corretta compenetrazione, senza provocare il danneggiamento dei pezzi contenuti.

5. È prevista una massima altezza di impilaggio pari a 1500 mm per tutti i buffer di processo, sia per mezzi di raccolta pieni che vuoti.
6. I mezzi di raccolta devono recare un supporto identificativo dei componenti contenuti, conformemente apposto; il supporto può essere un cartellino (kanban) o un'etichetta di produzione.
7. I mezzi di raccolta, quando impilati, devono avere il supporto identificativo rivolto verso il fronte di prelievo, in modo che siano facilmente identificabili dagli operatori addetti al prelievo.
8. Una volta svuotato il mezzo di raccolta, il supporto identificativo deve essere rimosso, in questo modo è immediatamente possibile distinguere i mezzi di raccolta pieni da quelli vuoti.

La logica FIFO prevede quindi che il primo componente prodotto sia il primo a essere utilizzato; questo viene innanzitutto garantito predisponendo un fronte di deposito all'opposto del fronte di prelievo del materiale, come è possibile osservare nella Figura 5.6: i tre componenti A, B e C nei relativi mezzi di raccolta vengono depositati nelle tre corsie dal fronte di deposito, per essere poi prelevati secondo necessità dal fronte di prelievo.

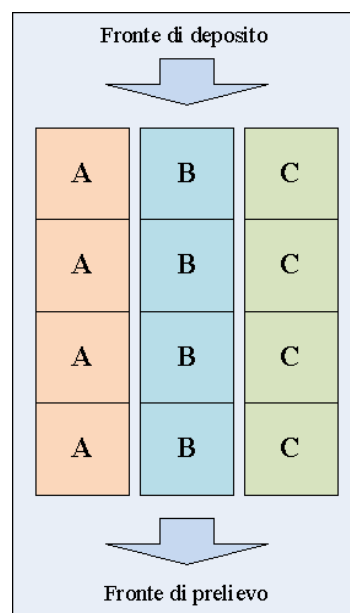


Figura 5.6 : fronti di deposito e prelievo per logica FIFO

In alcuni casi non è possibile garantire la presenza dei due fronti opposti, circostanza che si verifica quando lo stoccaggio avviene a ridosso di pareti; in tal caso la gestione del FIFO avviene identificando con un'etichetta dedicata i mezzi di raccolta coinvolti, che deve contenere le seguenti informazioni:

- codice prodotto;
- descrizione prodotto;
- stato di conformità/non conformità;
- quantità;
- data di produzione;
- turno di produzione.

In questo modo è possibile dedicare anche spazi minori allo stoccaggio di materiali, ricostruendo la tracciabilità del prodotto a partire dalle informazioni in etichetta, e identificando quale sia il materiale prodotto prima, quindi che ha la priorità di prelievo.

I buffer che presentano più corsie e i due fronti di prelievo devono riportare per ogni corsia un cartellino identificativo, visibile nella Figura 5.7, che deve contenere almeno le seguenti informazioni:

- codice prodotto;
- descrizione prodotto;
- tipologia di imballo/mezzo di raccolta (MdR);
- quantità per singolo mezzo di raccolta (cassetta o carrello);
- indicazione del fronte di deposito/prelievo.



Figura 5.7 : esempio di cartellino identificativo del buffer

Il cartellino identificativo è di norma apposto su una traversa porta-etichette montata su supporti a 1500 mm da terra, che pone quindi anche un limite all'altezza del materiale che viene depositato; dove non è presente una traversa è possibile collocare il cartellino a terra, tuttavia questa soluzione è da evitare per la scarsa durata del cartellino stesso.

In presenza di un buffer che ha più corsie per ogni componente, ponendosi nella direzione del fronte di caricamento IN, il deposito viene effettuato procedendo da destra verso sinistra adottando un “sistema a Z”, com'è possibile osservare nella Figura 5.8.

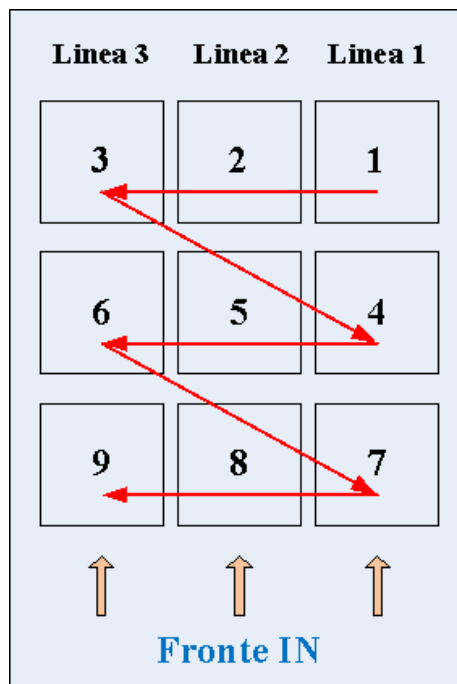


Figura 5.8 : schema di deposito per un buffer multilinea monocomponente

All'opposto, ponendosi nella direzione del fronte di prelievo OUT, il prelievo viene effettuato procedendo da sinistra verso destra, sempre adottando il “sistema a Z”, visibile nella Figura 5.9. In questo modo l'operatore incaricato del deposito e quello incaricato del prelievo lavorano in maniera opposta sui due diversi fronti, consentendo di avere prioritariamente il prelievo del materiale depositato da più tempo nel buffer.

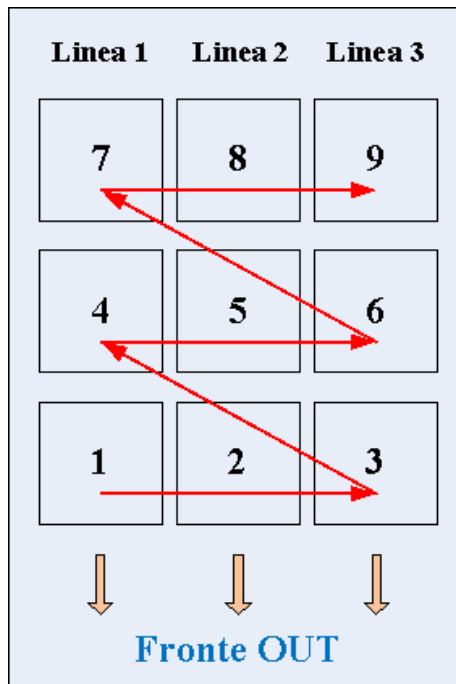


Figura 5.9 : schema di prelievo per un buffer multilinea monocomponente

5.3 Il buffer dei componenti stampati

I componenti stampati in alluminio (collettori, fianchetti e vasche nel caso delle masse radianti) vengono prodotti grazie a presse idrauliche con appositi stampi; ogni stampo è dedicato a un solo componente, ne consegue che una volta montato uno stampo su una pressa, non si produce soltanto il materiale che serve in tempo reale alla produzione. Si tende inoltre a cercare di minimizzare il numero di cambi modello (quindi di cambio stampo) e il cambio delle bobine di lamiera che alimentano le presse di stampaggio, sia per esigenze di tempo che per evitare la generazione di scarti; infatti, se si cambia il coil senza averlo terminato, la parte dall'ingresso della macchina all'uscita deve essere tagliata e scartata.

È quindi impossibile stampare in tempo reale con le due presse le decine di componenti diversi necessari alla produzione, applicando una logica di just in time; ne consegue che deve essere previsto un deposito in un buffer dedicato, in cui i componenti restino in attesa fino al prelievo da parte dei reparti cliente.

5.3.1 Generalità sul buffer dei componenti stampati

Durante l'esperienza di tirocinio è stata condotta un'analisi per ridefinire la gestione degli spazi relativi al buffer di processo dedicato ai componenti stampati, in vista di una futura implementazione di un sistema di controllo e gestione della produzione più accurato (ad esempio attraverso un sistema Kanban), che porti ad avere un buffer gestito e non controllato a vista dagli operatori come accade attualmente.

I componenti stampati vengono depositati in due tipologie di mezzi di raccolta, costituiti da cassette di dimensioni standard:

- cassetta “lunga” di dimensioni 800x400x200 mm;
- cassetta “corta” di dimensioni 600x400x200 mm.

Le cassette vengono poi impilate su carrellini che ne consentono il trasporto sia a livello di reparto che di stabilimento (lo stampaggio dei componenti in alluminio fornisce altri tre reparti, radiatori, condensatori e masse radianti); l'impilamento massimo secondo i vincoli di altezza definiti nel paragrafo 5.2 (1500 mm) è di sette cassette.

Nella Figura 5.10 è possibile osservare le viste laterali e frontali delle due tipologie di impilamento di cassette possibili, con le relative dimensioni caratteristiche.

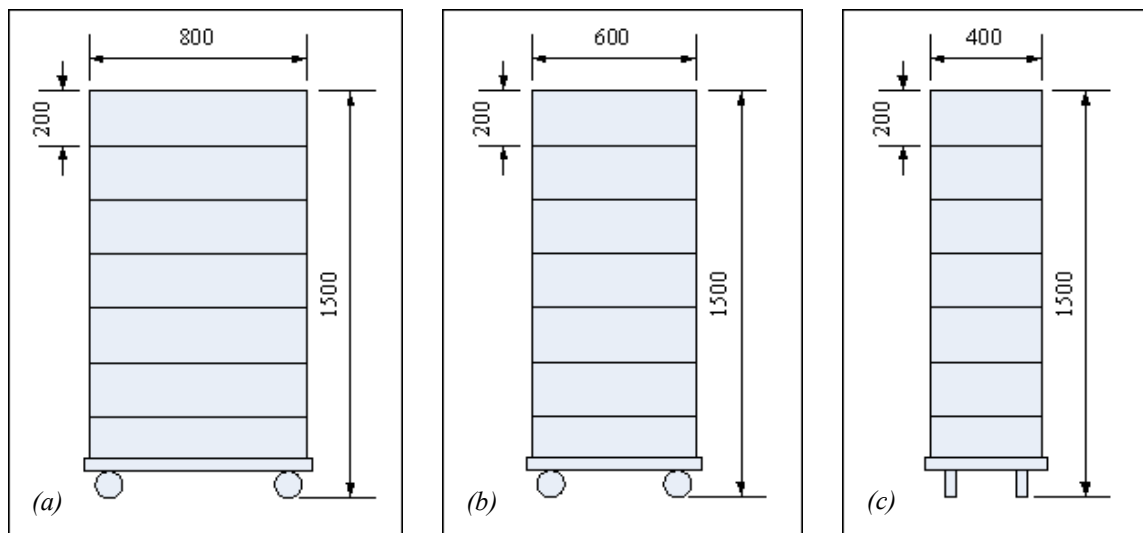


Figura 5.10 : vista laterale di un impilamento di cassette lunghe (a), corte (b) e vista frontale (c)

I carrelli con le cassette impilate (detti “trolley”) vengono quindi depositati in un’area dedicata. La struttura di questo buffer prevede la presenza di un fronte di deposito opposto al fronte di prelievo del materiale, come descritto nel paragrafo 5.2; in questo modo risulta possibile

implementare la logica FIFO, che è alla base della tracciabilità dei materiali all'interno dello stabilimento.

L'area è strutturata in corsie, ogni corsia deve essere mono-componente, per evitare di avere materiali diversi stoccati insieme, e a ogni componente deve essere riservata almeno una corsia. Le corsie dell'area non hanno tutte la stessa lunghezza, infatti si hanno sessantadue corsie di lunghezza 2,4 m divise in due blocchi e ventinove corsie di 1,8 m in un ulteriore blocco; ne consegue che, in base alle dimensioni delle cassette osservabili nella Figura 5.10 le corsie più ampie possono ospitare tre carrelli lunghi e quattro carrelli corti, mentre le corsie più piccole possono contenere due carrelli lunghi o tre carrelli corti. La struttura dell'area è visibile in pianta nella Figura 5.11: sono evidenziati i tre blocchi di corsie con le relative lunghezze, identificati dalle lettere A e B per le corsie lunghe, C per le corte; è inoltre osservabile la presenza dei due fronti di deposito (fronte IN) e prelievo (fronte OUT).

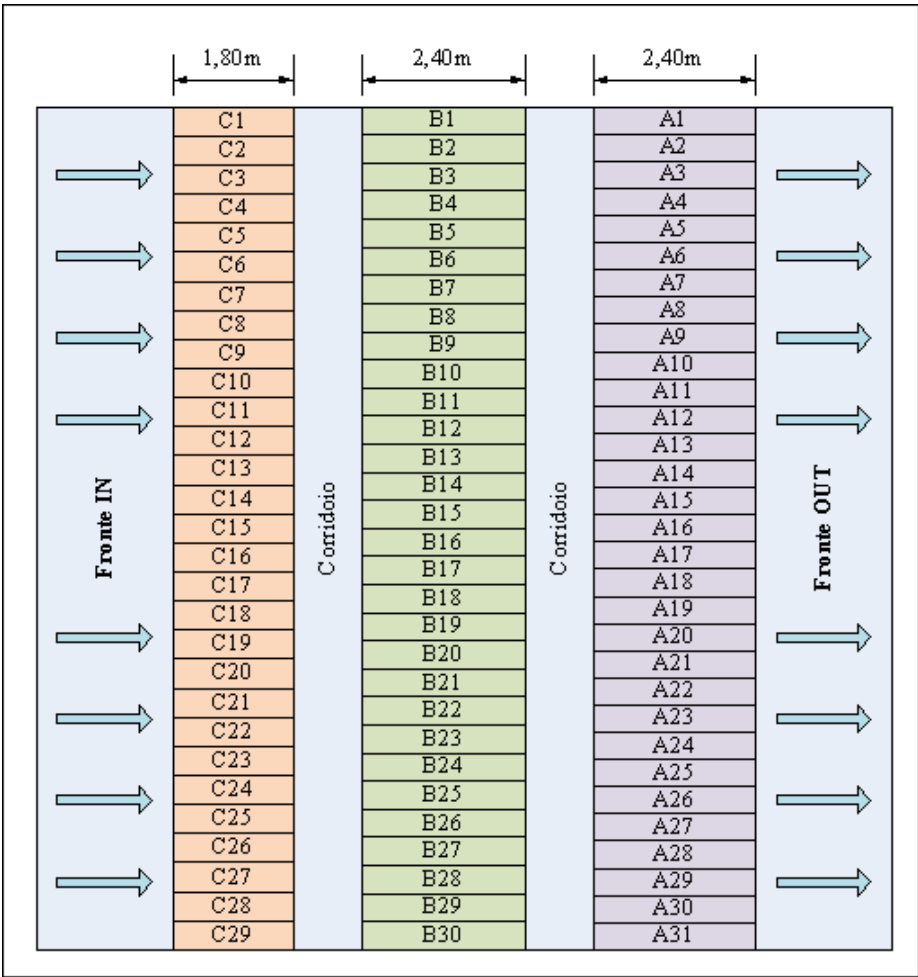


Figura 5.11 : schema in pianta della struttura della struttura del buffer dei componenti stampati

5.3.2 Dimensionamento della struttura del buffer

Il problema posto è la scelta di quali componenti abbiano priorità di essere depositati in questo buffer in base ai diversi fabbisogni di produzione (andando anche a eliminare eventuali prodotti obsoleti o con volumi che non giustifichino uno stoccaggio in quest'area); di conseguenza si ha un'assegnazione delle corsie disponibili ai singoli prodotti in termini di numero di corsie e collocazione, in base alle differenti esigenze produttive.

I dati in ingresso della suddetta analisi sono:

- quantità mensile da produrre in base ai dati di produzione;
- giorni di copertura standard da garantire;
- margine di sicurezza in termini di giorni, convertibile in quantità minima che deve sempre essere presente a buffer.

La simulazione della struttura è basata su dati medi di domanda, ed è stata effettuata utilizzando un foglio di calcolo che realizza il seguente flusso:

1. A partire dai dati di fabbisogno sull'anno fiscale (che per Denso Thermal Systems va da aprile a marzo) si estrae una domanda mensile media per ogni componente, da cui si calcola una domanda media giornaliera ipotizzando il numero di giorni lavorativi al mese pari a venti. Il dato di domanda media giornaliera è alla base di tutto il processo di dimensionamento.
2. Si prendono in considerazione i vincoli forniti sulla copertura standard e di sicurezza espressa in giorni, in generale si hanno sia coperture standard che di sicurezza di almeno un giorno, per arrivare al massimo a tre giorni di copertura complessiva minima. Si moltiplica quindi la domanda media giornaliera per la somma dei giorni di copertura standard e di sicurezza, individuando la quantità minima che il buffer deve contenere per ogni componente.
3. Si individua il numero di cassette minimo a buffer dividendo la quantità minima ottenuta al punto precedente per la quantità contenuta in una cassetta, definita dalla scheda imballo del componente.
4. Per passare al numero di corsie necessarie, si divide il numero di cassette per sette (altezza di un trolley) e per tre o per quattro a seconda che il componente sia contenuto rispettivamente in una cassetta lunga oppure corta, arrotondando per eccesso.

5. È infine prevista la possibilità, in base al numero totale e alla dimensione delle corsie disponibili, di variare manualmente il numero di corsie con lo scopo di ottimizzare la copertura in giorni, cercando di aumentarla e possibilmente uniformarla per i componenti a volumi di produzione più elevati.

Seguendo questo procedimento si ottiene un nuovo layout dell'area, in cui a ogni prodotto è assegnata almeno una corsia; a prodotti con volumi particolarmente elevati sono state assegnate più corsie, mentre per alcuni componenti in uscita dalla produzione, ma che vanno mantenuti per eventuali esigenze di fabbricazione di ricambi, è stato previsto uno spazio in magazzino su pedane imballate, che verranno prelevate all'occorrenza.

Nel comporre la struttura suddividendo le corsie si è posta l'attenzione anche su alcuni aspetti pratici relativi alla collocazione dei singoli componenti:

- Collocazione per famiglia di prodotto: si collocano vicini componenti facenti parte di una stessa famiglia di blocco radiante o prodotto finito, in modo da agevolare il deposito e il prelievo dei materiali da parte degli operatori. Così per i radiatori ad esempio sono stati collocati vicini collettori e fianchetti che vanno a comporre un blocco radiante, nel caso di fianchetti uguali montati su più collettori si è cercato di collocare il fianchetto al centro dei collettori; allo stesso modo per le masse radianti per quanto possibile (visti gli utilizzi comuni di alcuni semilavorati) si tenta di mantenere vicini collettori, fianchetti e vasche superiore e inferiore che vanno a comporre una massa radiante finita.
- Collocazione in base alla tipologia di prelievo e utilizzo: facendo riferimento alla Figura 5.11, sul lato del fronte OUT della corsia A sono presenti alcune postazioni per il travaso di collettori e fianchetti per radiatori in appositi stacker per le macchine di assemblaggio totalmente automatiche, mentre per le macchine automatiche il caricamento dei materiali è manuale da parte degli operatori; quindi i componenti che vengono travasati negli stacker sono stati collocati nelle corsie del blocco A, gli altri nelle corsie dei blocchi B e C.
- Collocazione in corsie distanziate per prodotti simili: per quanto possibile, si è evitato di dedicare corsie adiacenti a prodotti molto simili per conformazione e dimensioni; ad esempio, si è cercato di alternare sempre corsie contenenti collettori con corsie contenenti fianchetti, in quanto per alcuni modelli la differenza in lunghezza è molto limitata, e potrebbero risultare soggetti a scambi o confusioni, che provocherebbero grandi problemi in assemblaggio.

Per quanto concerne la descrizione del prodotto, è stata scelta una codifica breve per evitare nomi eccessivamente lunghi e meno leggibili da parte degli operatori; il campo della descrizione dei cartellini identificativi del buffer è quindi composto da:

- sigla identificativa del tipo di prodotto finito: radiatore, condensatore o massa radiante (identificata come “heater core”);
- sigla identificativa del tipo di componente: collettore, fianchetto o vasca (superiore o inferiore);
- nome del prodotto finito di riferimento o della famiglia di prodotti.

L’insieme delle combinazioni possibili è riassunto nella Tabella 5.2.

Tabella 5.2 : codifica della descrizione dei componenti del buffer

Prodotto	Codifica	Componente	Codifica	Campo descrizione
Radiatore	R	Collettore	C	R_C_Nome prodotto
		Fianchetto	F	R_F_Nome prodotto
Condensatore	C	Fianchetto	F	C_F_Nome prodotto
Massa radiante (heater core)	HC	Collettore	C	HC_C_Nome prodotto
		Fianchetto	F	HC_F_Nome prodotto
		Vasca inferiore	VI	HC_VI_Nome prodotto
		Vasca superiore	VS	HC_VS_Nome prodotto

Sono quindi stati realizzati dei nuovi cartellini identificativi del buffer inseriti in una banda magnetica, applicata sulla traversa metallica superiore al buffer che impedisce di sfiorare l’altezza dell’impilamento delle cassette. Questi cartellini, analoghi a quello visibile nella Figura 5.7 e contenenti le informazioni descritte nel paragrafo 5.2 sono stati personalizzati inserendo una nota di colore che permette di identificare visivamente in maniera immediata e intuitiva la famiglia di prodotto.

Un esempio di cartellino utilizzato è visibile nella Figura 5.12.

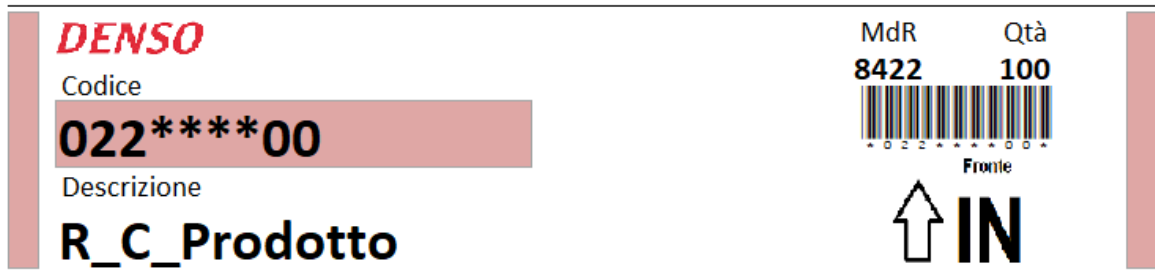


Figura 5.12 : nuovo cartellino identificativo del buffer

Nella Figura 5.13 è quindi possibile visualizzare la distribuzione dei vari prodotti sulle corsie disponibili nell'area di deposito, secondo la codifica riportata nella Tabella 5.2.

Viene poi riportata nella Figura 5.14 un'immagine di uno dei fronti di deposito del buffer dei componenti stampati, dove è possibile osservare la traversa superiore, con i nuovi porta-cartellini magnetici e cartellini nel formato individuato nella Figura 5.12.

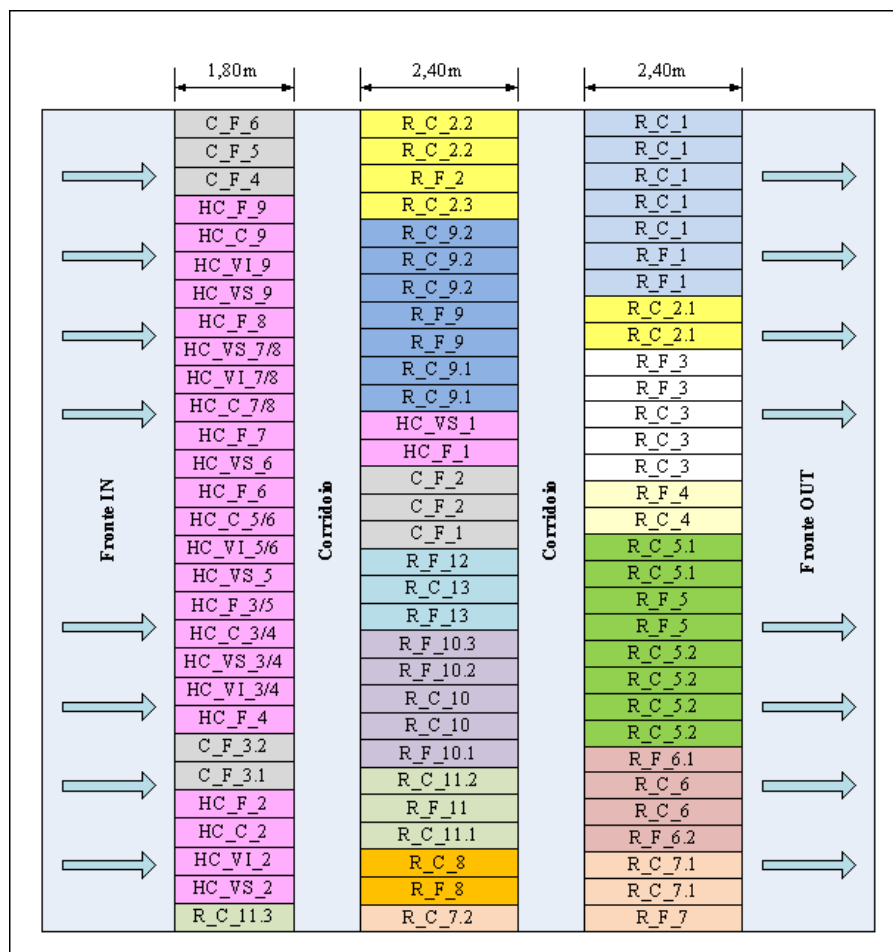


Figura 5.13 : nuovo layout del buffer codificato secondo il criterio esposto nella Tabella 5.1



Figura 5.14 : particolare di uno dei fronti di deposito con traversa porta-cartellini e nuovo formato cartellino

5.3.3 Calcolo preliminare del punto di riordino

Identificata la nuova distribuzione dei componenti nel buffer, in vista di una futura implementazione di un sistema di controllo e gestione della produzione, è stata condotta un'analisi preliminare per identificare il punto di riordino, ossia la quantità minima che può essere presente stoccata a buffer di un componente perché venga messa in coda la produzione dello stesso. Nel caso del buffer in esame per questa prima analisi sono stati considerati diversi vincoli legati alle esigenze produttive pratiche del reparto dello stampaggio di componenti in alluminio:

- Copertura di sicurezza in giorni: è la quantità minima espressa in giorni che deve sempre essere presente stoccata, attraverso il dato di domanda media giornaliera si traduce in un dato in termini di numero minimo di pezzi, quindi di cassette.
- Coil di lamiera: per quanto possibile si vuole evitare di scaricare dalle presse rotoli di lamiera non terminati, sia perché non è presente un grande spazio di stoccaggio per questa tipologia di materiale, sia perché nel caso si verifichi questa circostanza si rende necessario scartare la parte che è entrata in macchina ma non ha potuto ultimare la lavorazione. Quindi, per quanto possibile, si cerca di ordinare un lotto che consenta di utilizzare un intero coil, oppure lotti frazionati, ma che consentano di utilizzare uno stesso coil per produrre più componenti, se la capacità disponibile nel buffer lo consente.

Tenuti in considerazione questi vincoli, dei quali il primo è prioritario, si segue il seguente flusso, eseguito attraverso un apposito foglio di calcolo:

1. Si impone la quantità minima che deve essere presente nel buffer al momento del riordino, ottenuta moltiplicando la copertura di sicurezza in giorni per la domanda media giornaliera per il singolo componente; si ottiene quindi per differenza la quantità teorica che deve essere prodotta per saturare le corsie del singolo componente.
2. Dalla suddetta quantità è possibile ricavare la quantità di pezzi che viene ordinata nel lotto di produzione in termini di coil teorico necessario, dividendola per il numero di pezzi che è possibile produrre con un coil, ricavato a sua volta dividendo il peso del coil per il peso del pezzo.
3. Si procede ad analizzare i dati ottenuti, e si arrotonda manualmente cercando di utilizzare coil interi o frazioni di questi, considerando per ogni rotolo di lamiera il numero di diversi componenti che può essere prodotto; se a partire da un coil è possibile produrre un solo componente, si cercherà di utilizzare un coil intero o una sua frazione, se possibile una metà, mentre se è possibile produrre più componenti diversi, si cercherà di utilizzare frazioni proporzionate al fabbisogno di produzione, per cercare di accordarle alla capacità virtualmente disponibile nel buffer.
4. Si trasforma il dato in termini di pezzi del lotto in cassette, che sono le unità fondamentali del buffer e devono contenere un definito numero di pezzi, dividendo il lotto di produzione per il numero di pezzi per cassetta e arrotondando per eccesso.
5. Si ricava la quantità reale presente nel buffer al punto di riordino, facendo la differenza tra le cassette presenti a saturazione del buffer per un componente e le cassette del lotto di produzione, moltiplicando poi per il numero di pezzi per cassetta.
6. Si verifica che la quantità reale non risulti negativa, fatto che potrebbe verificarsi considerati gli arrotondamenti e semplificazioni introdotte nei passi precedenti; in tal caso si torna a modificare il coil reale del lotto di produzione andando a ridurlo. Si verifica inoltre che venga rispettato il vincolo sulla copertura di sicurezza in giorni, ricalcolando la sicurezza reale, dividendo la quantità reale presente nel buffer al punto di riordino per la domanda media giornaliera; anche in questo caso, se non viene rispettato il vincolo sulla sicurezza, si torna a modificare il coil reale del lotto di produzione.

Questo dimensionamento preliminare del punto di riordino non ha la pretesa di essere esaustivo rispetto a questa problematica, ma potrebbe porsi come punto di partenza per implementare un sistema di controllo della produzione che consenta di evitare l'attuale gestione a vista del buffer, o almeno, in una prima fase, renderla maggiormente accurata utilizzando i dati ricavati.

5.4 Il buffer dei tubi

Le tube mill, macchine dedicate alla produzione dei tubi piatti per i radiatori, producono diversi modelli, in termini di spessore del nastro, di lunghezza e profilo della sezione trasversale; ne consegue che è necessario prevedere, analogamente ai componenti stampati, la presenza di un buffer dedicato ai carrelli di tubi prodotti, che nel caso delle tube mill è distribuito su tre aree allo scarico delle macchine.

5.4.1 Generalità sul buffer dei tubi

Durante l'esperienza di tirocinio è stata condotta un'analisi volta alla riorganizzazione delle aree dedicate a buffer per i tubi piatti. I tubi vengono caricati su appositi carrelli gialli dotati di ruote (osservati nella Figura 5.4) di dimensioni standard, che possono essere movimentati manualmente e stoccati nel buffer.

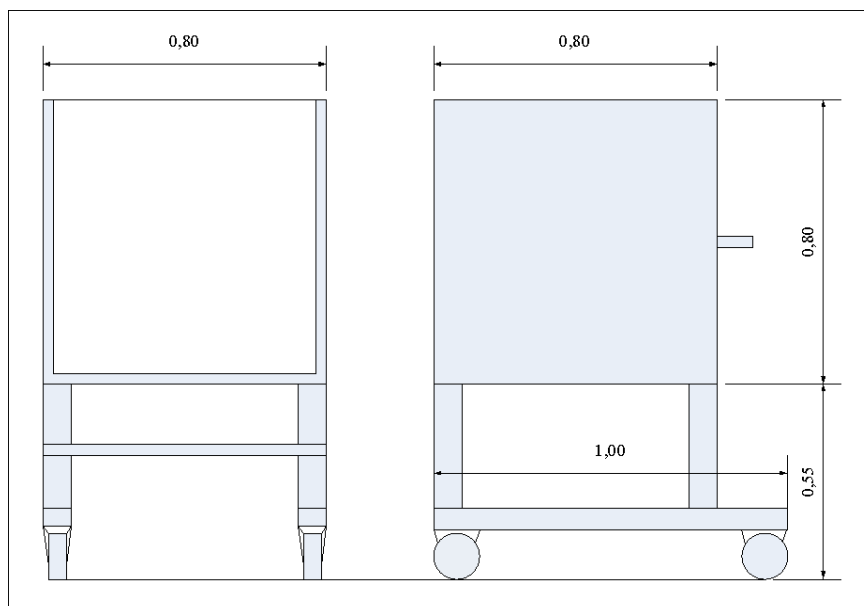


Figura 5.15 : principali dimensioni caratteristiche dei carrelli standard per il trasporto dei tubi

I tubi stoccati sono processati per la maggior parte dal reparto radiatori, che utilizza tubi piatti saldo-brasati, una quota minore viene prodotta da una tube mill dedicata che realizza i tubi per le masse radianti, che sono invece di tipo folded.

Complessivamente, le tre macchine dedicate alla produzione di tubi per radiatori gestiscono 16 tipologie di tubo, con due valori di altezza e tre di spessore, ma una macchina è dedicata a un solo modello, che viene caricato su stacker invece che su carrelli gialli, in quanto processato da una macchina di assemblaggio che richiede questo tipo di supporto per il prelievo del tubo; l'analisi della struttura del buffer è quindi limitata ai soli carrelli, poiché gli stacker sono collocati in un'area dedicata allo scarico della relativa tube mill. L'ultima macchina opera invece con 8 codici, un nastro dedicato e altezza tubo peculiare delle masse radianti.

A differenza di collettori, fianchetti e vasche, che sono valutati in termini di numerosità di componenti, l'unità di misura impiegata per i tubi è il kg di prodotto; questo implica che tutte le analisi qui proposte sono riferite a chilogrammi di tubo e non a conteggi in termini di numero di tubi, se non come dato intermedio che consente di passare quantitativamente a pesi.

La nuova struttura proposta vede la formazione di gruppi di carrelli che consentano di avere dei fronti di deposito e di prelievo opposti, in modo che possa essere implementata la logica FIFO, con lo scopo di garantire la tracciabilità dei prodotti. I diversi blocchi sono poi strutturati in corsie, che possono ospitare da due a quattro carrelli ciascuna; si è scelto di evitare di avere corsie più lunghe perché, oltre alla disponibilità di spazio, in fase di deposito sarebbe impossibile riuscire a spingere manualmente più di quattro carrelli carichi, soprattutto su tipologie di tubo particolarmente lunghe, che saturano bene il volume utile del carrello.

5.4.2 Analisi preliminare dei pesi dei carrelli

Per avere un più accurato dimensionamento della struttura del buffer è stata condotta in via preliminare un'analisi del peso reale dei carrelli con un carico di tubi adatto all'utilizzo sulle macchine di assemblaggio; infatti in precedenza era previsto in fase di calcolo un peso standard netto dei carrelli di 200 kg. In funzione invece del carico reale si è osservato che la variabilità di questo peso netto è piuttosto accentuata, è impossibile considerare un peso medio per tutte le tipologie di tubo che consenta di avere un accurato dimensionamento.

Allo scarico delle tube mill i tubi vengono fascettati in mazzi, che vengono impilati sui carrelli su più piani; la larghezza dei mazzi e il numero di piani ospitato dai carrelli dipende dalla tipologia di tubo, quindi dalle sue caratteristiche geometriche e di spessore. In particolare, la

lunghezza del tubo consente di determinare se su un carrello sia possibile realizzare più file di mazzi: i tubi dei radiatori, più lunghi, prevedono la presenza di una sola fila di mazzi per piano, mentre quelli delle masse, più corti, possono essere collocati anche su due o al limite tre file per piano.

A partire da questi dati è possibile stimare il numero di tubi che un carrello potrà contenere e, attraverso il peso del singolo componente a disegno o da software gestionale aziendale, ricavarne il peso netto complessivo. Questa stima è stata effettuata utilizzando un foglio elettronico in cui sono stati organizzati i dati ricavati da disegni, programma gestionale e nell'area tube mill, per poi procedere al calcolo del peso netto complessivo dei carrelli.

Si ottiene quindi la Tabella 5.3, da cui i fogli di calcolo relativi al dimensionamento della struttura andranno a cercare il dato di peso dei carrelli; la descrizione presentata è stata accordata, in ottica di standardizzazione, a quella utilizzata per il buffer dei componenti stampati, il numero che segue all'identificazione di un tubo per radiatore/massa fa quindi riferimento allo stesso modello di collettori, fianchetti e vasche nel caso delle masse radianti.

Tabella 5.3 : tabella di calcolo per la stima del peso netto dei carrelli contenenti i tubi piatti

Codice	Descrizione breve	Peso tubo [kg]	Spessore [mm]	W [mm]	L [mm]	H [mm]	# Piani	# tubi/ mazzo	# pile/ piano	# tubi/ carrello	Peso netto carrello
.020***400	R_9	0,01850	2	140	640	16	45	70	4	12600	233
.020***100	R_13	0,01654	2	140	601	16	45	70	4	12600	208
.020***200	R_13	0,02035	2	140	721	16	45	70	4	12600	256
.020***700	R_12	0,01887	2	140	669	16	45	70	4	12600	238
.020***800	R_11	0,01796	2	140	620	16	45	70	4	12600	226
.020***900	R_11	0,01604	2	140	550	16	45	70	4	12600	202
.020***300	R_10	0,01479	2	140	620	16	45	70	4	12600	186
.020***000	R_10	0,01309	2	140	540	16	45	70	4	12600	165
.020***100	R_4	0,01227	2	140	505	16	45	70	4	12600	155
.021***110	R_7	0,01236	1,4	140	639	16	45	90	4	16200	200
.021***410	R_7	0,01160	1,4	140	619	16	45	90	4	16200	188
.021***310	R_7	0,01044	1,4	140	559	16	45	90	4	16200	169
.021***510	R_6	0,00772	1,4	140	399,4	16	45	90	4	16200	125
.F60***400	R_5	0,00660	1,8	110	399,4	12,5	46	60	5	13800	91
.F60***500	R_8	0,00610	1,8	110	369,4	12,5	46	60	5	13800	84
.020***600	HC_3/5	0,01413	1,8	162	309	31	23	85	8	15640	221
.020***200	HC_8	0,01002	1,8	162	219	31	23	85	12	23460	235
.020***200	HC_9	0,01250	1,8	162	269	31	23	85	12	23460	293
.020***000	HC_10	0,01185	1,8	162	259	31	23	85	12	23460	278
.020***400	HC_6	0,01089	1,8	162	229	31	23	85	12	23460	255
.020***800	HC_7	0,01173	1,8	162	249	31	23	85	12	23460	275
.020***400	HC_4	0,01972	1,8	162	429	31	23	85	4	7820	154
.020***900	HC_2	0,01788	1,8	162	389	31	23	85	8	15640	280
.020***800	R_1/3	0,01127	2	140	399,4	16	45	70	4	12600	142

5.4.3 Dimensionamento della struttura del buffer

Una volta determinata la dimensione delle aree sfruttabili, conseguentemente la struttura delle corsie che è possibile ospitare, è necessario allocare i diversi modelli sulle posizioni disponibili.

I dati in ingresso per il dimensionamento sono:

- Quantità media mensile da produrre in base ai dati di produzione.
- Quantità media giornaliera da produrre, calcolata su una base mensile ipotizzata di 20 giorni lavorativi.
- Tempo ciclo richiesto per la produzione di un kg di tubo (unità di misura utilizzata per questo tipo di componente).
- Tempo di trasporto (inteso come intervallo che intercorre tra il prelievo di un carrello dal buffer per l'assemblaggio e il ritorno a vuoto).
- Efficienza tecnica della macchina (valore medio considerato del 70%).
- Tempo di cambio tipo medio (valore considerato di un'ora).

Si presenta quindi il foglio di calcolo fornito che è stato ottimizzato, integrando e aggiornando i dati utili al dimensionamento della struttura del buffer, relativo a una delle macchine tube mill presente nel reparto.

Macchina: TM9	
Tempo per produrre la richiesta (ore)	15
Tempo di apertura (ore giorno)	24
Tempo ancora disponibile (ore)	9
Efficienza tecnica macchina (%)	70%
Altre fermate da considerare (ore)	0
Tempo disponibile per cambio tipo (ore)	9
Tempo cambio tipo medio (ore)	1
N° codici	12
N° cambi possibile/ giorno	9,3
EPEx possibile - Every Product Every (gg)	1,3

Codice	Descrizione	Peso carrello (kg)	Richiesta (kg/gg)	Tempo ciclo (min/kg)	Tempo reale (min/kg)	Tempo produzione (ore)	LOTTO (kg)	LOTTO (min)	Tempo di trasporto (min)	Leadtime (min)	Takt time (min/kg)	Max LT (min)	Totale carrelli necessari	Totale carrelli lotto
.020***400	R_9	233	912	0,25	0,33	5,0	932	307,3	140	507	2	507	6	4
.020***800	R_13	226	1	0,25	0,32	0,0	226	72,3	320	452	1139	507	2	1
.020***900	R_13	202	7	0,22	0,28	0,0	202	57,5	320	438	207	507	2	1
.020***100	R_12	208	6	0,23	0,30	0,0	208	62,6	220	343	260	507	2	1
.020***200	R_11	256	5	0,28	0,36	0,0	256	92,4	220	372	286	507	2	1
.020***700	R_11	238	81	0,26	0,33	0,5	238	79,4	160	299	18	507	2	1
.020***300	R_10	186	49	0,25	0,32	0,3	186	59,5	320	440	30	507	2	1
.020***000	R_10	165	128	0,22	0,28	0,6	165	46,1	320	426	11	507	2	1
.020***100	R_4	208	459	0,20	0,26	2,0	625	163,9	270	494	3	507	4	3
.021***110	R_7	200	561	0,28	0,36	3,4	601	217,7	145	423	3	507	4	3
.021***310	R_7	169	88	0,29	0,38	0,6	169	63,7	145	269	16	507	2	1
.021***510	R_6	125	613	0,17	0,23	2,3	625	141,6	115	317	2	507	7	5
			2909			14,67		1364					37	23

Figura 5.16 : foglio di calcolo utilizzato per dimensionare la struttura del buffer dei tubi

Con riferimento alla Figura 5.16 i dati evidenziati in verde sono inseriti manualmente, mentre quelli evidenziati in arancione sono ricavati automaticamente; il lotto evidenziato in blu deriva da un calcolo automatico che può poi essere affinato manualmente.

Il flusso di calcolo eseguito è il seguente:

1. A partire dal tempo ciclo nominale si ricava attraverso l'efficienza tecnica della macchina η_t un tempo ciclo reale, ottenuto come:

$$t_{reale} = t_{nominale} + (1 - \eta_t)t_{nominale}$$

È quindi possibile stimare un tempo richiesto per la produzione della domanda giornaliera; la somma dei tempi relativi ai singoli modelli in ore viene riportata nella testata del foglio di calcolo, in cui a partire dal tempo di apertura del reparto e dal tempo

previsto per altre eventuali fermate è possibile ricavare il tempo residuo che può essere sfruttato per i cambi tipo.

2. A partire dal tempo disponibile per i cambi tipo, dal tempo medio per effettuare l'operazione e dal numero di codici gestiti dalla macchina, si stima il numero di cambi possibile al giorno, unitamente a un indicatore EPEX (every product every day) che quantifica ogni quanti giorni è teoricamente possibile produrre tutti i codici che la macchina deve processare.
3. La costruzione del lotto di produzione può seguire due strade: la prima prevede la moltiplicazione dell'indicatore EPE calcolato al passaggio precedente per la domanda giornaliera, andando ad arrotondare il numero di imballi all'intero più vicino; infatti è intuitivo che se è possibile produrre tutti i codici ogni 1,3 giorni, il lotto dovrà possibilmente andare a coprire questo intero arco temporale. La seconda strada consiste nell'ipotizzare che ogni giorno sia possibile produrre tutti i modelli, quindi impostando un lotto che arrotonda per eccesso la semplice richiesta giornaliera.

Considerato che la macchina si trova a processare alcuni modelli a volume giornaliero molto basso, che quindi non entrano in produzione se non molto raramente, si è scelta la seconda strada, in quanto ipotizzando di eliminare dal calcolo i codici a basso volume si riesce teoricamente a produrre l'intera richiesta giornaliera con un determinato margine e nella pratica si ritiene sufficiente questo approccio nel dimensionamento della struttura del buffer.

4. Il lotto calcolato in kg può essere convertito, attraverso il tempo ciclo reale, nel tempo che richiede per essere effettivamente prodotto; questo, sommato al tempo di trasporto e al tempo di cambio tipo medio, va a costituire il lead time massimo dovuto ad un determinato modello, ossia il massimo tempo che può intercorrere tra la chiamata di produzione e la consegna del lotto di materiale. Determinati i diversi lead time, si utilizza per il dimensionamento, in ottica conservativa, il lead time massimo tra quelli di tutti i componenti lavorati su una stessa macchina; questo garantisce un corretto dimensionamento anche nel peggiore scenario possibile, ossia con chiamata della produzione di un tubo quando sia appena stata chiamata la produzione del tubo con il lead time più consistente.

Risulta poi utile il calcolo del takt time (espresso in min/kg), ottenuto come rapporto tra le ore di apertura e la domanda giornaliera; questo parametro identifica la cadenza

produttiva media con cui teoricamente un kg di tubo è consumata da parte dei reparti cliente.

5. È quindi possibile procedere al calcolo delle posizioni necessarie per i carrelli per ogni tipologia di tubo, andando a sommare due diversi contributi, espressi in numero di carrelli: il consumo medio nel lead time, ottenuto come rapporto tra il massimo lead time e il takt time moltiplicato per il peso del carrello, e il numero di carrelli utili a contenere il lotto di produzione.
6. Con questo dimensionamento, considerando il numero di carrelli totali richiesti da un modello e quello richiesto per coprire il lotto, è anche possibile avere un ordine di grandezza per il punto di riordino facendo la differenza tra i due valori; ad esempio, in riferimento alla Figura 5.16, per il tubo radiatore R_9 la capacità prevista è di sei carrelli, mentre i carrelli prodotti con un lotto sono quattro, questo indica che il punto di riordino, ossia l'istante in cui deve partire la chiamata per un nuovo lotto di materiale, dovrà coincidere al momento in cui all'interno del buffer restino due carrelli di questo modello.

Seguendo il procedimento descritto si ricava un numero minimo di posizioni che un dato modello richiede in termini di carrelli.

Quindi per l'allocazione delle diverse tipologie di tubo in base alla capacità disponibile si tengono in considerazione alcuni aspetti pratici, legati al modo in cui viene fabbricato il materiale: le aree individuate si trovano tutte nei pressi dello scarico di una tube mill, quindi si cerca di collocare in un'area il materiale proveniente dalla macchina più vicina, in modo da minimizzare i tempi di trasporto innanzitutto da parte degli operatori incaricati del deposito; quando questo non è stato possibile, sono stati collocati lontano dallo scarico della relativa macchina prodotti che hanno volumi bassi e quindi richiedono una minore movimentazione. Un criterio analogo per quanto possibile è stato seguito considerando aspetti legati al prelievo del materiale da parte dell'area di assemblaggio.

Si riportano le planimetrie delle tre aree individuate, con le corsie dedicate ai carrelli e i relativi prodotti contenuti, con nomenclatura analoga a quella proposta nella Tabella 5.3 e nota di colore corrispondente alle famiglie di prodotti analizzate nel paragrafo 5.3 per quanto concerne il buffer dei componenti stampati.

Sono evidenziate in rosso le aree disponibili per il collocamento delle corsie, rilevate e quotate in metri; nel dimensionamento occorre tenere in considerazione innanzitutto gli spazi utili

affinché i carrelli possano essere depositati/prelevati senza incorrere in difficoltà di movimentazione, ma anche spazi tecnici per il funzionamento delle macchine: ad esempio, con riferimento alla Figura 5.17, è necessario disporre, considerata la configurazione della tube mill 11, di un'area dedicata alla movimentazione e al carico delle bobine di nastro di alluminio.

Allo scarico della tube mill 9 e della tube mill 11, considerato lo spazio disponibile, sono state previste in via sperimentale anche alcune posizioni adatte a ospitare i carrelli vuoti provenienti dal reparto di assemblaggio.

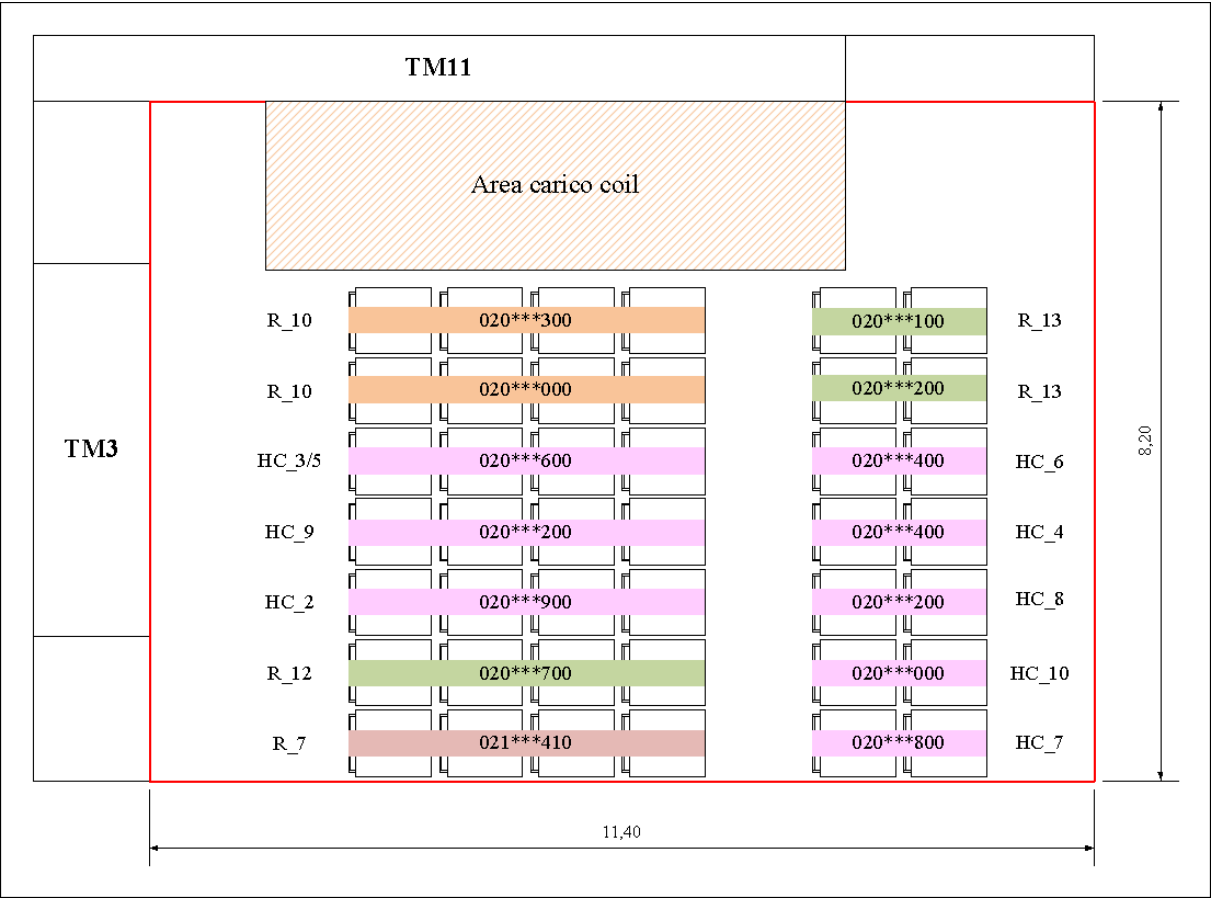


Figura 5.17 : area allo scarico della TM3

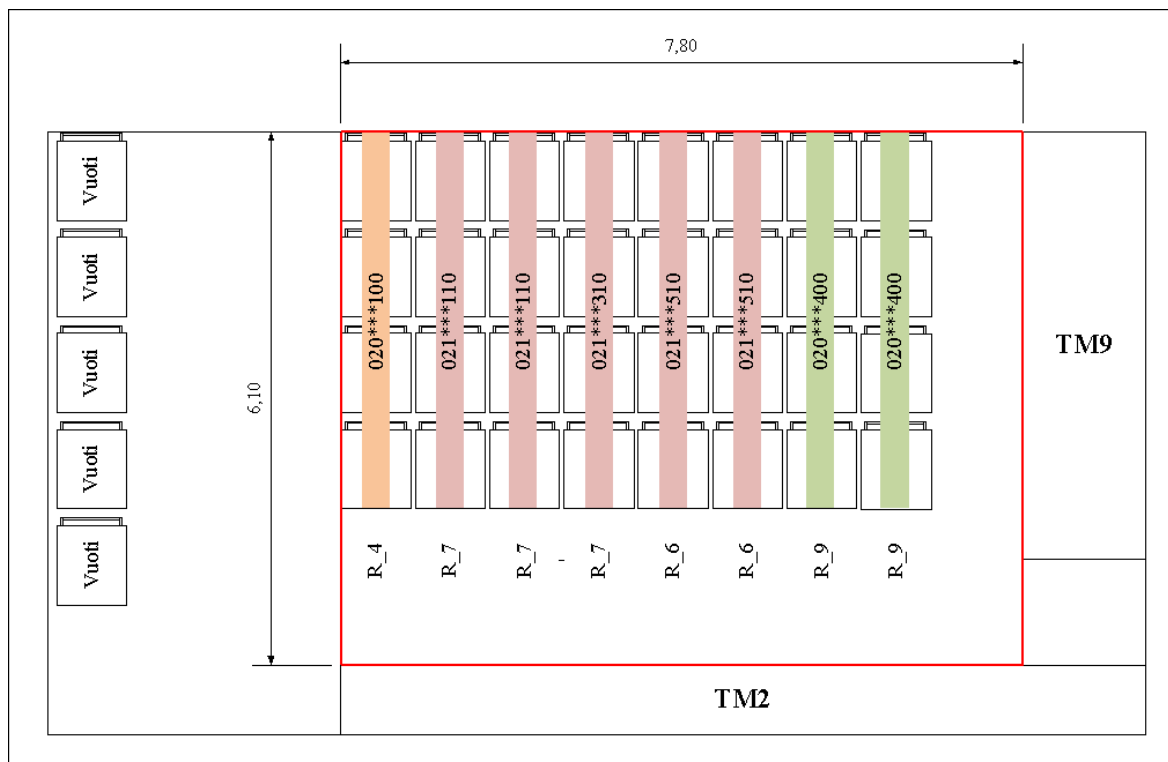


Figura 5.18 : area allo scarico della TM9

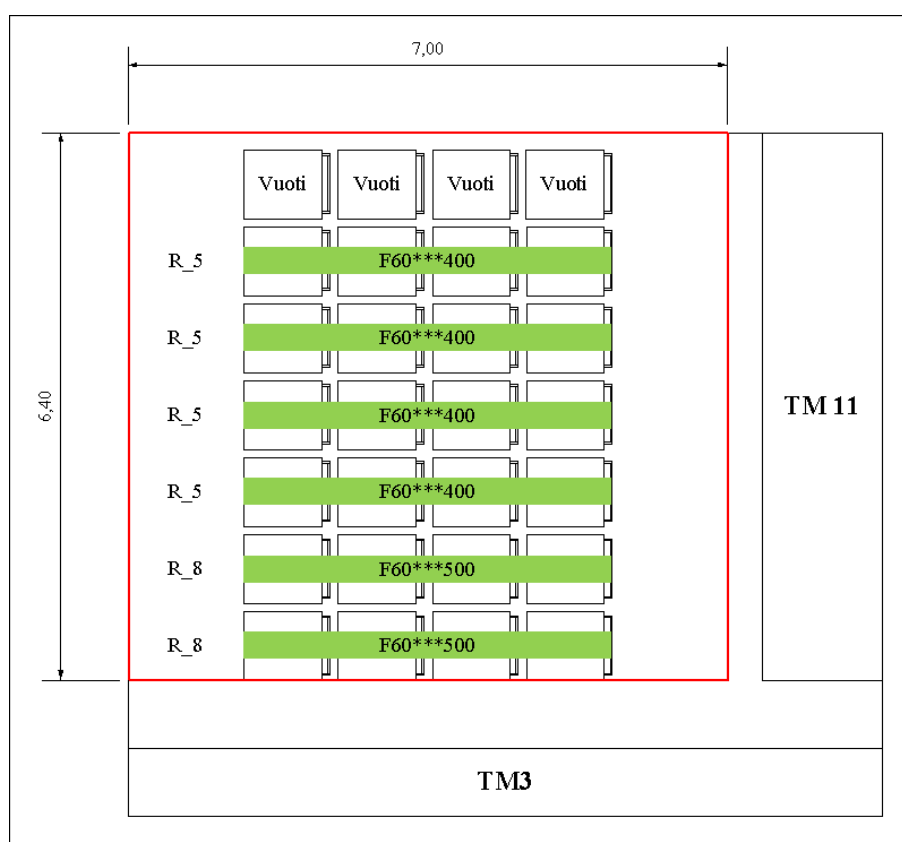


Figura 5.19 : area allo scarico della TM11

5.5 La riduzione dello scarto sulla tube mill 9

Le tube mill sono macchine utilizzate per la produzione dei tubi, i quali vanno poi a comporre il cuore del blocco radiante. Il processo inizia con il carico in macchina dei nastri di alluminio, e attraverso una serie di fasi restituisce il tubo con le corrette caratteristiche geometriche, come descritto nel capitolo 2.

In questo paragrafo l'obiettivo è l'analisi delle criticità inerenti la produzione dei tubi, con particolare riferimento a una delle ultime macchine arrivate in stabilimento, la tube mill 9, e con alcuni cenni di confronto con la nuova tube mill 11 per valutare gli aggiornamenti introdotti sulla base dell'esperienza con la macchina precedente; si indagano le principali cause che portano alla generazione di significative quantità di scarto e le azioni messe in atto per ridurre queste ultime in maniera consistente.

Per comprendere meglio le azioni intraprese si forniscono alcuni dettagli relativi alla struttura della macchina e al controllo di qualità che viene effettuato per valutare la conformità dei tubi prodotti dalle macchine.

5.5.1 La struttura della macchina

La macchina può essere suddivisa in diverse sezioni, poste allineate per effettuare la lavorazione:

- *Decoiler*: sono degli aspi svolgitori su cui vengono caricate le bobine di nastro di alluminio utilizzate per la produzione dei tubi; una volta posizionate, il mandrino viene esteso fino a essere forzato contro l'anima della bobina, in modo che questa non possa più muoversi lateralmente durante lo svolgimento. La macchina presenta due di questi dispositivi allineati (visibili nella Figura 5.20), con appositi canali chiusi nella parte superiore per lo scorrimento del nastro, che consentono di caricare in sicurezza una bobina in macchina mentre l'altra viene svolta e processata.
- *Ballerino*: è un rullo montato su una struttura con due guide lineari collegato a un contrappeso che, in combinazione con due rulli fissi nella parte alta del dispositivo, regola la tensione del nastro all'ingresso della macchina.



Figura 5.20 : gli aspi svolgitori della macchina (a sinistra) e il ballerino a fine corsa (a destra)

- *Stazione di saldatura del nastro*: è un'area della macchina in cui è possibile effettuare la saldatura del nastro in esaurimento con quello che inizia la lavorazione.



Figura 5.21 : stazione di saldatura dei nastri

- *Accumulo di materiale*: è costituito da due gruppi di particolari rulli su cui il nastro viene avvolto ripetutamente, generando un accumulo che può essere controllato da alcuni contrappesi e un sistema di gestione attivo, con un motore che attiva appositi rulli che controllano la tensione del nastro tra i due gruppi di accumulo.



Figura 5.22 : gruppi di accumulo nastro

- *Banchi di formatura e saldatura del tubo:* sono i banchi della macchina su cui vengono montati gli attrezzaggi specifici dei diversi modelli, con cui vengono realizzate le fasi di piegatura del nastro, saldatura e scordonatura, e formatura finale del profilo del tubo.
- *Zona di taglio del tubo:* è una taglierina confinata in un involucro di sicurezza; nel caso della tube mill 9 è costituita da una lama rotante a velocità fissa e da una matrice gestita da alcuni magneti controllati dalla macchina che inducono lo spostamento della matrice al momento opportuno provocando il taglio del tubo in moto alla lunghezza definita; questo sistema è lubrificato per evitare la precoce usura dei componenti che sono soggetti a sollecitazioni importanti.



*Figura 5.23 : gruppi di piegatura, saldatura, scordonatura e formatura
(sull'estrema sinistra è possibile osservare anche la protezione del gruppo di taglio tubo)*

- *Sistema di impilaggio e tramoggia di scarico*: a valle del processo di taglio dei nastri conducono i tubi al sistema di impilaggio; qui i tubi urtano contro una molla di contrasto disperdendo l'energia cinetica che possedevano a causa della velocità di avanzamento della lavorazione nella macchina, e trovandosi in posizione orizzontale vengono impilati e guidati nello scorrimento in una tramoggia di scarico, da cui poi vengono prelevati e fascettati dagli operatori incaricati dello scarico, che li depositano sui carrelli per il trasporto.

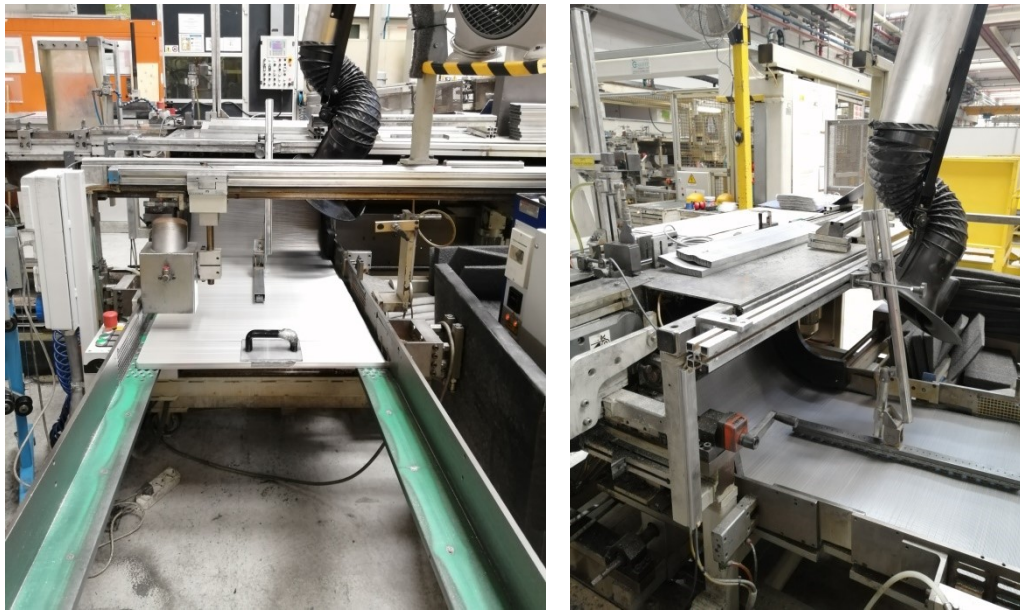


Figura 5.24 :sistema di impilaggio e tramoggia di scarico

- *Sistemi ausiliari*: alle spalle delle sezioni della macchina che processano il materiale sono presenti una serie di ausiliari elettro-meccanici che ne permettono il funzionamento, quali impianti pneumatici che distribuiscono l'aria compressa, pompe che garantiscono la lubrificazione e il flusso di fluidi alla macchina, aspiratori che liberano le camere della macchina da fumi ed esalazioni prodotte dai processi.



Figura 5.25 : panoramica degli impianti ausiliari della macchina

5.5.2 Il controllo di qualità dei tubi

I tubi prodotti devono innanzitutto rispettare le quote previste a disegno, un tubo che non rispetti questo requisito chiaramente deve essere scartato; esistono tuttavia alcuni requisiti più stringenti legati alle macchine di assemblaggio, che spesso hanno difficoltà a processare tubi anche se questi sono conformi al disegno. Occorre poi considerare che il tubo è un elemento leggero e piuttosto flessibile, prodotto a grandi velocità, per cui è impossibile realizzare un controllo su grandi lotti in maniera puntuale, questo si effettua all'avvio di una produzione e poi a campione in relazione alla quantità di materiale processata nella produzione di un lotto.

Il controllo di qualità quindi si concentra su alcune caratteristiche geometriche peculiari del tubo, più complesse di quelle presentate nel paragrafo 1.4.2, perché quando viene prodotto il tubo non è propriamente piatto, ma presenta una certa ovalizzazione funzionale al processo di assemblaggio, in cui viene eliminata a fronte della compressione del blocco radiante.

Le caratteristiche geometriche misurate sono:

- *Crown*: è la larghezza del tubo al centro della sezione, quantifica la correttezza dell'ovalizzazione del profilo.
- *Land*: è la larghezza del tubo nel punto in cui inizia la curvatura degli estremi; è una quota particolarmente importante perché è quella a cui teoricamente si riporterà anche il *crown* alla compressione del blocco radiante. Inoltre, si distingue in genere il *land welded*, sul lato del tubo su cui è stata effettuata la saldatura con successiva scordonatura, dal *land not welded*, sul lato dove il nastro è stato semplicemente ripiegato.

- *Height*: è la quota di altezza del profilo del tubo, la dimensione maggiore delle due nella sezione trasversale, utile insieme alle precedenti per il corretto accoppiamento tra tubi e asole dei collettori.
- *Length*: è la lunghezza del tubo, che deve essere conforme a quella del blocco radiante che verrà realizzato nelle fasi di assemblaggio.

Nella Figura 5.26 è visibile la tipica ovalizzazione della sezione trasversale del tubo e sono rappresentate le quote di rilievo per le misure relative al controllo di qualità.

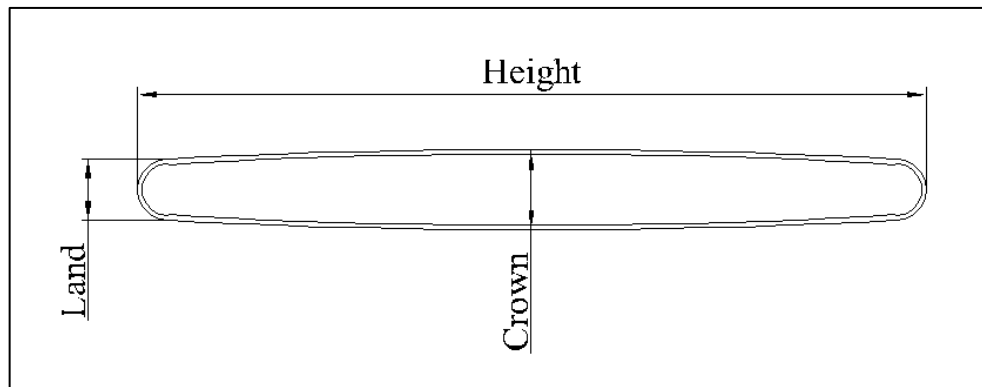
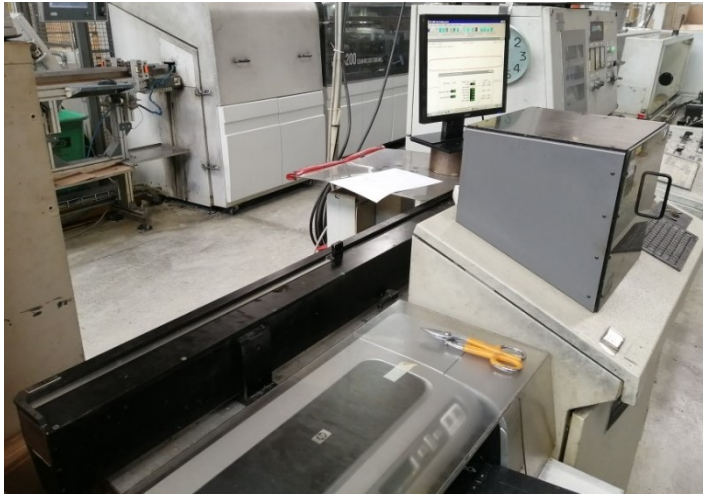


Figura 5.26 : quote rilevate nella sezione trasversale

Nella Figura 5.27 è possibile invece osservare il banco di misura utilizzato per il rilievo delle caratteristiche geometriche del tubo: nella parte sinistra è presente una guida con una parete fissa contro cui viene appoggiata un'estremità del tubo, un cursore mobile viene accostato all'altra estremità, in questo modo è possibile valutare la lunghezza che viene riportata sullo schermo del banco; le altre misure sono effettuate con l'utilizzo di una tavola rotante su cui viene fissata una porzione di tubo, una volta messa in rotazione il sensore laser misura il crown, i due land di interesse e l'altezza del tubo, riportando il profilo rilevato sullo schermo.



*Figura 5.27 : banco di misura delle caratteristiche geometriche del tubo (a sinistra),
con dettaglio del dispositivo di misura del profilo (a destra)*

Oltre alle caratteristiche geometriche, viene effettuata anche una prova di pressurizzazione con olio che porta il tubo a scoppio, un misuratore di pressione rileva la pressione a cui il tubo cede, a seconda della tipologia di tubo (e in particolare di spessore del nastro) il cedimento deve verificarsi al di sopra di una determinata pressione, di 48 bar per nastri di spessore 0,225 mm e di 64 bar per nastri di spessore 0,3 mm. Per effettuare questa prova si utilizza un ulteriore banco, collocato a lato di quello per il rilievo delle caratteristiche geometriche, che è possibile osservare nella Figura 5.28, in cui il tubo viene collocato su appositi posaggi tra due testate che inseriscono l'olio con una pressione crescente fino al cedimento del tubo, che avviene dal lato della saldatura.



Figura 5.28 : banco per la prova di scoppio del tubo

5.5.3 Valutazione della percentuale di scarto relativa alla tube mill 9

Nel paragrafo 4.4.2 si è osservato come uno degli indicatori più importanti per quanto riguarda l'analisi dello scarto è la percentuale di materiale scartato; allo stesso tempo è possibile osservare come, tra i grafici che derivano dall'aggregazione dei dati di scarto, non sia possibile ritrovare la percentuale di scarto sulla base della singola macchina presente nel reparto, perché questo parametro non risulta di rapida estrapolazione su tutte le macchine, soprattutto quando entrano in gioco molte componenti (ad esempio sulle macchine di assemblaggio) e le unità con cui si contano i pezzi non sono facilmente accordabili.

Tuttavia, dal momento che per quanto concerne la produzione dei tubi il componente è unico, le quantità prodotte vengono valutate in kg e anche le quantità di scarto sono valutate nella stessa unità, è possibile ricostruire l'indicatore in esame a partire dalla conoscenza delle quantità giornaliere scartate (disponibile dal database dell'aggregazione delle quantità di scarto di reparto) e delle quantità giornaliere conformi prodotte (disponibili a partire dalle quantità versate alla fine di ogni turno); è stata quindi calcolata la percentuale di scarto su base giornaliera limitatamente alla tube mill 9, aggregando i dati disponibili per gli anni solari 2019 e 2020 (limitato a luglio), con lo scopo di valutare il trend dell'indicatore e valutare l'efficacia delle azioni intraprese per abbatterne l'entità.

Per fare questo sono state costruite, per ogni anno, due matrici, una relativa alla quantità conforme in kg di tubi prodotti, e una relativa alle quantità in kg scartate, derivate dalla pesatura dei cassoni di scarto relativi alla macchina; è stata quindi creata una terza matrice, che permette di valutare la percentuale di scarto giorno per giorno, valutata come rapporto tra la quantità scartata e la somma di quest'ultima più la quantità conforme.

Si riporta a titolo esemplificativo una porzione delle suddette matrici nella Figura 5.29, dove dall'alto verso il basso sono contenute le quantità conformi, quelle scartate e le percentuali calcolate. Si riscontrano alcune anomalie in termini di percentuali quando l'indicatore è pari a 0% (presenza di materiale conforme ma non di scarto) e al 100% (assenza di materiale conforme e presenza di quantità di scarto); queste anomalie possono essere dovute a uno scostamento temporale sui diversi turni tra la registrazione della produzione di materiale conforme e quella derivante dal peso dei cassoni di materiale scartato.

2019	1	2	3	4	5	...	26	27	28	29	30	31	TOT. MESE
GEN	0	2268	3887	2643	0	...	0	0	4031	4054	3650	4350	77016
FEB	4617	0	0	2369	4221	...	3091	3296	1555	0	0	0	71458
MAR	3532	0	0	2843	1777	...	3370	4679	3516	3896	722	0	69635
APR	4261	4046	4363	3490	3994	...	1330	0	0	4349	3672	3037	69122
MAG	0	3037	4140	0	0	...	1999	2609	2342	4633	2840	3783	75251
GIU	1000	0	3314	1903	3618	...	2376	2942	4848	0	0	0	60993
LUG	4020	2350	3384	4023	4301	...	1451	0	0	2117	2921	1992	88028
AGO	19210					...							19210
SET	0	1816	2865	1351	2020	...	1888	3459	563	0	1261	904	53810
OTT	904	3017	3413	2384	0	...	0	0	2820	1880	4237	4338	61785
NOV	0	0	0	2036	1706	...	2264	2766	3697	2196	0	0	61809
DIC	0	2926	1873	2362	3119	...	0	0	0	0	1328	0	38833
Matrice conformi													Totale anno
													746950
2019	1	2	3	4	5	...	26	27	28	29	30	31	TOT. MESE
GEN	0	439	173	464	0	...	0	0	369	0	184	246	5906
FEB	252	0	0	179	186	...	335	462	431	0	0	0	5938
MAR	428	0	0	0	447	...	378	395	477	380	0	0	7663
APR	352	177	358	190	270	...	0	0	0	221	194	0	5279
MAG	0	160	260	0	0	...	0	402	414	499	406	413	7301
GIU	0	0	351	410	113	...	55	187	241	500	0	0	6184
LUG	314	263	427	400	255	...	79	0	0	261	115	135	6518
AGO	219	0	0	0	0	...	307	76	353	176	140	0	2382
SET	0	249	133	240	329	...	359	319	0	0	289	0	6572
OTT	278	232	287	421	0	...	0	0	342	204	207	150	5763
NOV	0	0	0	236	185	...	251	145	138	64	38	0	3756
DIC	0	249	171	51	315	...	0	0	0	0	0	0	2570
Matrice scarto													Totale anno
													65832
2019	1	2	3	4	5	...	26	27	28	29	30	31	MEDIA MESE
GEN	#DIV/0!	16,22%	4,26%	14,93%	#DIV/0!	...	#DIV/0!	#DIV/0!	8,39%	0,00%	4,80%	5,35%	7,12%
FEB	5,18%	#DIV/0!	#DIV/0!	7,03%	4,22%	...	9,78%	12,29%	21,70%	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	7,67%
MAR	10,81%	#DIV/0!	#DIV/0!	0,00%	20,10%	...	10,09%	7,78%	11,95%	8,89%	0,00%	#DIV/0!	9,91%
APR	7,63%	4,19%	7,58%	5,16%	6,33%	...	0,00%	#DIV/0!	#DIV/0!	4,84%	5,02%	0,00%	7,10%
MAG	#DIV/0!	5,00%	5,91%	#DIV/0!	#DIV/0!	...	0,00%	13,35%	15,02%	9,72%	12,51%	9,84%	8,84%
GIU	0,00%	#DIV/0!	9,58%	17,73%	3,03%	...	2,26%	5,98%	4,74%	100,00%	#DIV/0!	#DIV/0!	9,21%
LUG	7,25%	10,07%	11,20%	9,04%	5,60%	...	5,16%	#DIV/0!	#DIV/0!	10,98%	3,79%	6,35%	6,89%
AGO	1,13%	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	...	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	#DIV/0!	11,03%
SET	#DIV/0!	12,06%	4,44%	15,08%	14,01%	...	15,98%	8,44%	0,00%	#DIV/0!	18,65%	0,00%	10,88%
OTT	23,52%	7,14%	7,76%	15,01%	#DIV/0!	...	#DIV/0!	#DIV/0!	10,82%	9,79%	4,66%	3,34%	8,53%
NOV	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	10,39%	9,78%	...	9,98%	4,98%	3,60%	2,83%	100,00%	#DIV/0!	5,73%
DIC	#DIV/0!	7,84%	8,37%	2,11%	9,17%	...	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0,00%	#DIV/0!	6,21%
Matrice percentuale													Media anno
													8,10%

Figura 5.29 : dall'alto verso il basso, un esempio di parte della matrice della quantità conforme di tubo, della quantità scartata e delle relative percentuali di scarto

A partire dai dati ricavati è stata poi creata per ognuno dei due anni in esame una tabella riassuntiva che consente di ricavare le percentuali medie su base mensile, oltre che su base annuale (utilizzando i dati di quantità totali sulle due basi temporali), e di tracciare un grafico che riporta sia le quantità di materiale scartato che le corrispondenti percentuali calcolate. Questo grafico, aggiornato al 31 luglio 2020, viene riportato nella Figura 5.30.

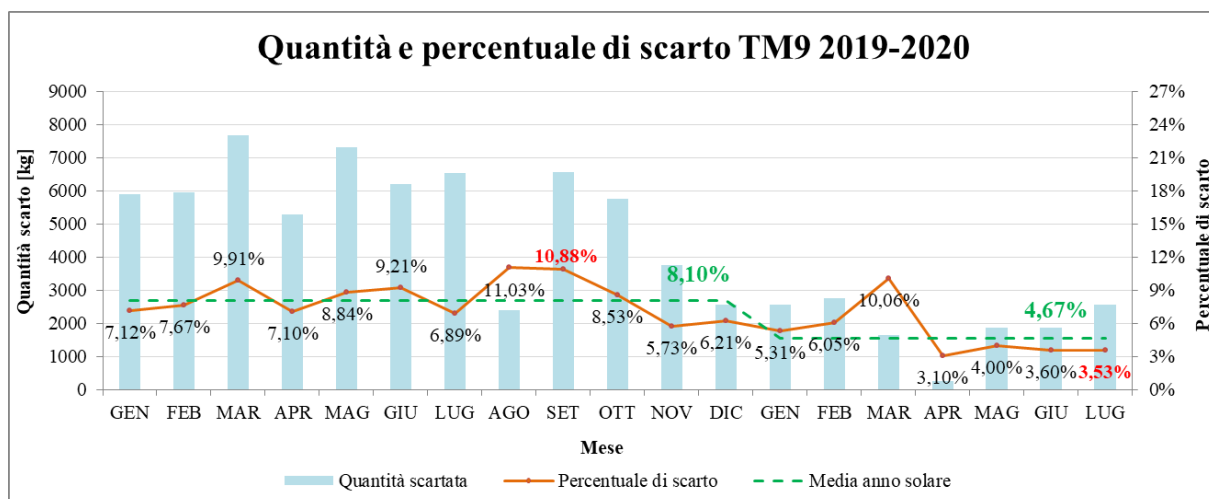


Figura 5.30 : andamento della quantità e delle percentuali di scarto medie mensili e annuali

In riferimento alla Figura 5.30 è possibile osservare che nel confronto tra i due anni si è registrato un consistente calo della quantità di materiale scartato; pur osservando che il 2020 è risultato fino a luglio un anno fortemente influenzato dall'emergenza Coronavirus, con chiusure parziali e in alcuni periodi totali e conseguente calo generale dei volumi produttivi, il dato relativo alle quantità è accompagnato da un consistente calo dell'indicatore di percentuale di scarto. Inoltre, si evidenzia un calo importante della percentuale di scarto media su base annuale tra il 2019 e il 2020.

Queste considerazioni suggeriscono che le misure messe in atto per il miglioramento sulla macchina abbiano condotto a buoni risultati indipendentemente dalla situazione non ordinaria che si è verificata; si descrivono quindi nel paragrafo 5.5.4 le principali azioni implementate con l'obiettivo di ridurre lo scarto prodotto dalla tube mill 9.

5.5.4 Azioni per la riduzione dello scarto sulla tube mill 9

A partire da settembre/ottobre 2019 molti sforzi sono stati concentrati su alcune contromisure, relative sia a componenti meccaniche che software e di gestione, da attuare sulla macchina al fine di abbattere le quantità scartate e le conseguenti percentuali.

Le modifiche effettuate hanno consentito di passare da una percentuale di scarto di circa 11% di settembre 2019 fino al 3,53% di luglio 2020, apportando un consistente miglioramento per quanto concerne questa macchina sul fronte dello scarto.

Sensore laser sui decoiler

Una delle problematiche rilevate sulla macchina era dovuta all'impossibilità di stimare con sufficiente precisione il momento in cui la bobina di nastro giungeva a esaurimento, in quanto le dimensioni delle bobine non sono standardizzate e alcune presentano un'anima di cartone, altre no; questo impediva di fornire alla macchina un parametro relativo alle bobine che risultasse stabile, e portava allo scarto di considerevoli quantità di fine coil, che la macchina non riusciva a processare.

È importante che l'istante di fine bobina sia determinato con precisione perché sulla base di questo la macchina effettua un transitorio di decrescita della velocità di avanzamento, utilizzando il nastro presente nell'accumulo e consentendo la saldatura del nastro a fine lavorazione con quello che entra in macchina nell'apposita stazione, seguito da un transitorio di crescita della velocità che riporta la macchina a regime; è quindi possibile, se le operazioni si svolgono nel modo corretto, lavorare con continuità senza interrompere la produzione della macchina, ma semplicemente rallentandola per un periodo limitato di tempo.

La prima soluzione implementata è stata l'installazione all'interno della gabbia di protezione degli aspi svolgitori di sensori laser (uno per ogni aspo) che effettuano un controllo continuo della distanza tra sensore e bobina in svolgimento fornendo alla macchina la possibilità di effettuare, sulla base dei parametri di lavorazione, una previsione su quando la bobina andrà a esaurimento. Uno dei sensori montati è osservabile nella Figura 5.31.

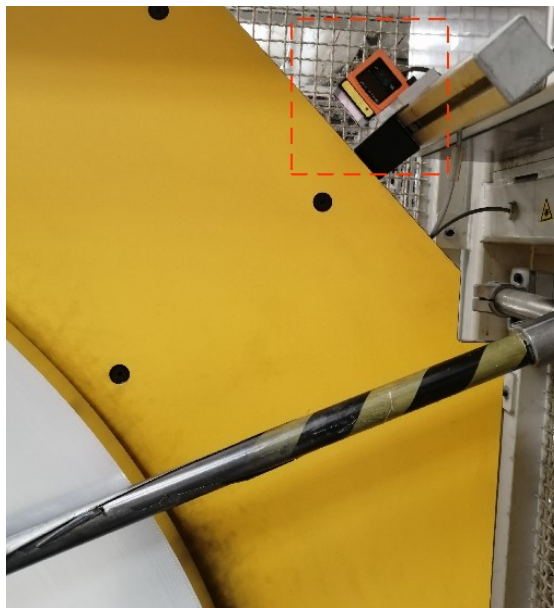


Figura 5.31 : in alto a destra uno dei sensori montati sugli aspi svolgitori

L'installazione del sensore ha portato un primo beneficio riuscendo a far elaborare alla macchina una maggiore quantità di nastro, provocandone un minore scarto, ma si è verificata un'ulteriore criticità: l'aspo presenta nella parte centrale un mandrino estensibile che viene forzato sull'anima del coil, affinché questo non possa avere movimenti laterali che potrebbero influenzare negativamente la lavorazione; il forzamento può provocare, nelle fasi finali di svolgimento, quando la pressione sul mandrino da parte della bobina diminuisce, una leggera ovalizzazione dell'anima che porta a una lettura oscillante da parte del sensore laser, che non consente alla macchina di avere un'adeguata precisione nell'inizio del rallentamento della lavorazione.

Sensore di rilievo della caduta a fine corsa del ballerino

Per ovviare all'ultima problematica evidenziata, ai sensori laser per il monitoraggio delle bobine sugli aspi è stato affiancato un sensore di presenza a fine corsa del ballerino; durante il funzionamento normale della macchina il ballerino mantiene il nastro in tensione trovandosi in una posizione intermedia tra il fine corsa superiore (tensione minima) e il fine corsa inferiore (tensione massima). All'esaurimento della bobina il ballerino non subisce più la forza del nastro che lo mantiene in posizione intermedia, quindi cade per gravità arrivando al fine corsa inferiore.

È stato installato un sensore di presenza del ballerino nella parte bassa di questa sezione (visibile nella Figura 5.32), in questo modo si può avere la certezza che tutta la bobina è stata svolta e la macchina può controllare in modo più accurato il transitorio di rallentamento e consumo dell'accumulo, combinando le informazioni provenienti dai sensori laser sugli aspi svolgitori e di quello di presenza del ballerino. La combinazione di queste informazioni ha consentito di eliminare le quantità di nastro scartato a causa dell'impossibilità da parte della macchina di effettuarne la lavorazione.

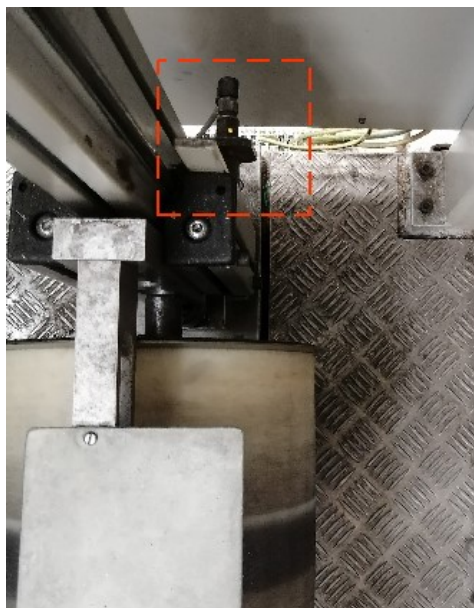


Figura 5.32 : Sensore di presenza del ballerino

Estensione del fine corsa del contrappeso dell'accumulo

La tensione del nastro nella zona di accumulo della macchina è mantenuta su entrambi i gruppi attraverso un contrappeso collegato ai rulli della struttura superiore attraverso una catena; è inoltre presente un motore elettrico con un pignone su cui scorre la catena, che può controllare attivamente il sistema a seconda dei parametri della lavorazione.

Il contrappeso presenta un fine corsa superiore, che si raggiunge quando l'accumulo si esaurisce e i rulli superiori (mobili sulla verticale) si avvicinano a quelli inferiori (fissi alla base della macchina), e un fine corsa inferiore, che corrisponde alla massima tensione imposta al nastro, quindi si raggiunge durante il normale funzionamento della macchina (configurazione osservata nella Figura 5.22).

È stato notato che nella configurazione originale del fine corsa rimaneva ancora un margine piuttosto elevato tra i rulli superiori e la struttura di contenimento della sezione di accumulo; è stata quindi valutata insieme all'azienda costruttrice della macchina l'estensione del fine corsa del contrappeso, spostando la traversa metallica visibile nella parte inferiore della Figura 5.33 di 100 mm verso il basso (è infatti possibile anche notare i vecchi fori sulla struttura). Inoltre, la posizione del contrappeso è monitorata dalla macchina attraverso sensori laser dedicati, montati nella parte alta della struttura di accumulo, simili a quelli visti per gli aspi svolgitori.

L'importanza di questa azione risiede nel fatto che si guadagna tempo utile per effettuare la saldatura dei nastri; potrebbe sembrare trascurabile, ma occorre considerare che a ogni

ripartenza da ferma la macchina scarta indipendentemente dalla conformità un determinato numero di tubi, quindi se la saldatura viene effettuata senza arrivare al fermo macchina si evita comunque una quota di materiale scartato, anche considerati i numerosi cambi di bobina che vengono effettuati durante una consueta giornata lavorativa.



Figura 5.33 : contrappeso e fine corsa (nella parte inferiore) spostato verso il basso

Modifica del meccanismo di lubrificazione del taglio tubo

Il sistema di taglio tubo della macchina è una delle aree più critiche, in quanto la taglierina (che ruota a velocità fissa dell'ordine di 15000 rpm) deve riuscire a effettuare tagli precisi con il tubo in movimento a velocità fino a 200 m/min. La conseguenza è che il sistema è molto sollecitato e richiede un'accurata lubrificazione, in origine questa era garantita da appositi canali ricavati nella struttura in cui veniva pressurizzata una corrente d'aria che richiamava in alcuni ugelli a vuoto l'olio andando a lubrificare il sistema lama-matrice; questo sistema risultava poco preciso e affidabile, soprattutto alle alte velocità di avanzamento della macchina, e i fori degli ugelli erano soggetti a otturazioni derivanti da impurità presenti nell'olio lubrificante o da sfridi del taglio.

La soluzione è stata la sostituzione con un sistema di due batterie di quattro piccole pompe dedicate esclusivamente alla lubrificazione, derivato dalle altre macchine presenti in stabilimento; la ridondanza dovuta alla presenza di un numero maggiore di pompe assicura, anche in caso di guasto, una buona affidabilità del sistema e una corretta lubrificazione.

Il sistema descritto gioca un ruolo importante anche sul piano della generazione dello scarto, perché garantisce una precisione di taglio del tubo ottimale, che evita problemi di accumulo di tubi all'ingresso del sistema di impilaggio che sarebbero scartati. Inoltre, considerate le sollecitazioni a cui è sottoposto il meccanismo di taglio, una corretta lubrificazione risulta fondamentale per garantire una maggiore vita utile dei singoli componenti.

Modifiche relative al software di controllo della macchina

In collaborazione con il produttore della macchina sono state implementate alcune modifiche al software per adattarla a lavorare in maniera migliore con le differenti tipologie di tubo; gli interventi effettuati possono essere così riassunti:

- *Inserimento dei parametri caratteristici della lavorazione:* in origine erano presenti solo due “macro-ricette” con parametri di funzionamento generici; a partire dall’esperienza maturata nella produzione dei diversi modelli, sono stati stabiliti dei parametri caratteristici, dei quali i più critici sono la velocità di avanzamento delle singole componenti della macchina e le potenze legate alla saldatura, influenzati dalla lunghezza del tubo e dallo spessore del nastro. Infatti, lunghezze minori del tubo richiedono velocità di avanzamento minori, mentre spessori maggiori richiedono potenze di saldatura superiori.
È stato quindi creato un archivio contenente “ricette” apposite per ogni tipologia di tubo, con i parametri corretti di lavorazione, in modo da semplificare la configurazione della macchina ai cambi di modello.
- *Sequenza di avvio della produzione:* anche in questo caso l’avvio della produzione di tubi diversi richiede parametri peculiari e raggiunge condizioni di regime in tempi caratteristici (ad esempio tubi più piccoli arrivano a regime più velocemente); è stata quindi stabilita per ogni modello una precisa sequenza di partenza automatica, andando a limitare le problematiche e le regolazioni in avvio.
- *Numero di tubi da convalida:* alla fine della configurazione iniziale della macchina per un determinato tubo è necessario procedere alla convalida da parte della qualità di stabilimento; per fare questo la macchina devia una serie di tubi allo scarico affinché possano essere prelevati. In origine lo scarico era gestito a tempo, ossia era previsto un determinato intervallo di tempo in cui venivano deviati tutti i tubi prodotti a scarico, estraendo un numero eccessivo di componenti rispetto a quello effettivamente

necessario alla convalida in base alla lunghezza del tubo e alla velocità di avanzamento; è stato quindi previsto che si possa selezionare un numero preciso di tubi dal pannello di controllo della macchina, in modo che non vengano estratti troppi tubi in fase di convalida, anche considerato che questa potrebbe non essere rilasciata al primo tentativo e quindi è sempre presente la possibilità che sia necessario ripetere il procedimento più volte per ottenere un tubo conforme, affinando la configurazione dei parametri macchina.

- *Numero di tubi di prova*: analogamente al numero dei tubi necessari per la convalida, in origine la deviazione dei tubi test (per la misura delle caratteristiche geometriche e la prova di scoppio da parte del conduttore della macchina) era gestita a tempo; anche in questo caso si è passati a una gestione a numero, limitando la quantità di tubi deviati per le prove di controllo a produzione in corso.
- *Arresto della macchina per fine coil*: a partire dai parametri forniti dai sensori alla macchina, questa è in grado di prevedere il tempo necessario per la saldatura in base al transitorio di riduzione della velocità e al conseguente consumo della capacità di accumulo; se il tempo di saldatura risulta eccessivo la macchina viene arrestata automaticamente per consentire di portare a termine la procedura, evitando il consumo dell'intero nastro, che richiederebbe una nuova configurazione. La conseguenza è che però la continuità della lavorazione verrà interrotta, e si dovrà procedere a un nuovo avvio automatico della macchina.

Visualizzazione dati scarto in tempo reale

Per avere un quadro in tempo reale dell'andamento della macchina in termini di scarto e di efficienza è stato inserito sulla linea uno schermo (osservabile nella Figura 5.34) che riporta i seguenti dati di riepilogo, aggiornati ogni quarto d'ora:

- *RGI*: è un indicatore utilizzato per la valutazione della produzione; ogni componente prodotto ha un tempo ciclo prestabilito di processo, questo indicatore è valutato come il rapporto tra la quantità di pezzi prodotti moltiplicati per il corrispondente tempo ciclo e le ore di apertura dello stabilimento.
- *Quantità di tubi conformi prodotta*: è la quantità di tubo prodotta che al controllo della chiusura da parte della macchina risulta conforme.

- *Scarto sx*: è lo scarto generato dal prelievo di tubi sottoposti a controllo qualità da parte del conduttore della tube mill.
- *Scarto dx*: è lo scarto generato dalla deviazione di tubi non correttamente saldati nell'apposito cassone automaticamente; è necessario precisare che, quando viene individuato un tubo non correttamente chiuso, vengono scartati, oltre al tubo in questione, i tre precedenti e i tre successivi per sicurezza, anche se questi potrebbero risultare conformi a un eventuale controllo qualitativo.
- *Scarto impilatrice*: è lo scarto provocato dal malfunzionamento del sistema di impilaggio. Se si verifica un inceppamento del suddetto sistema un sensore sulla macchina lo rileva e attiva il deviatore dei tubi nel cassone; quindi la macchina effettua un conteggio dei tubi deviati, fornendo il dato di scarto in tempo reale.
- *Totale scarto*: è la somma dei contributi dovuti alle diverse causali di scarto presenti a schermo.
- *Fermate*: riporta in minuti le fermate della macchina separate per causale; con riferimento alla Figura 5.34 si riportano le fermate operatore, quelle per inceppamento del sistema di impilaggio, e i generici fermi macchina dovuti a cause diverse.



Figura 5.34 : schermo a bordo impianto per la visualizzazione dei dati in tempo reale

Questa tipologia di sistema è utile perché mette a disposizione a tutte le persone coinvolte nel processo, in modo visivamente efficace e quasi in tempo reale, l'andamento della macchina sia dal punto di vista dell'efficienza che da quello del materiale scartato; in questo modo se si osservano anomalie rispetto a un andamento normale si può intervenire cercando di comprenderne la causa evitando una crescita incontrollata dello scarto.

Soluzioni implementate sulla nuova TM11

A partire dalle competenze maturate nell'utilizzo della TM9 sono state effettuati dei miglioramenti nella progettazione e installazione di un'ulteriore tube mill che prenderà pieno servizio nel corso del 2020; le modifiche più significative hanno riguardato il meccanismo di taglio tubo e il sistema di impilaggio allo scarico della macchina.

Il meccanismo di taglio, considerate le difficoltà legate al gruppo della TM9, è stato semplificato andando a introdurre un diverso sistema che “insegue” il tubo ed effettua il taglio, che in questo modo di fatto avviene come se il tubo si trovasse fermo (sulla TM9 il taglio avviene invece a tubo in moto alla velocità di avanzamento).

Per quanto concerne invece le modifiche al sistema di impilaggio, in uscita dalla macchina è stato inserito un gruppo di rulli, che imprimono un'accelerazione al tubo, portandolo a collisione con una molla di contrasto che, invece di essere meccanica, è gestita da un dispositivo a magneti che consente di rallentare il tubo in maniera più accurata riducendo le problematiche di inceppamento del sistema di impilaggio.

I tubi sono inoltre guidati nella tramoggia di scarico da due fasce metalliche la cui tensione sui tubi impilati è controllata da un sistema di cilindri pneumatici.

I sistemi descritti sono evidenziati nella Figura 5.35.

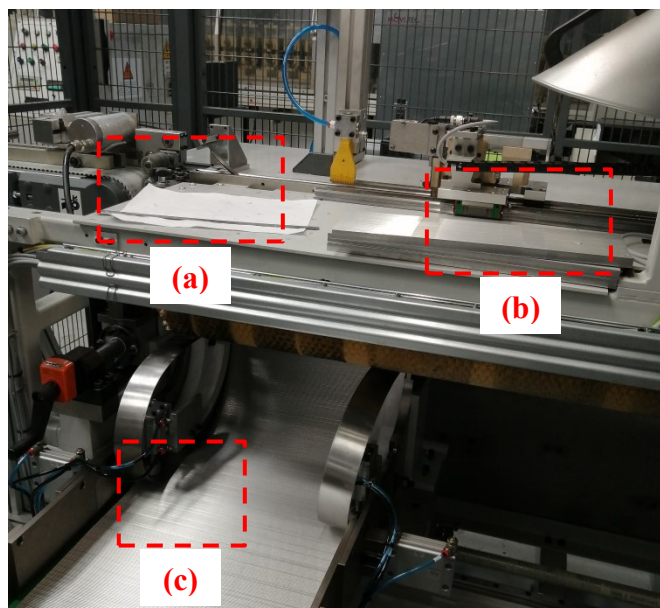


Figura 5.35 : componenti del nuovo sistema di impilaggio, sistema a rulli (a), molla di contrasto a magneti (b) e sistema di regolazione della tensione sui tubi impilati (c)

5.6 La rilevazione dello scarto in tempo reale

Quella della generazione di scarto è una problematica complessa, uno degli aspetti da considerare è il fattore temporale: se l'aggregazione dei dati viene effettuata con base minima il turno, nelle grandi produzioni in serie è possibile che si presentino in quest'arco temporale quantità anche consistenti di scarto, che quindi possono essere valutate solo a posteriori della generazione del problema.

Diventa quindi essenziale implementare sistemi complementari a quelli di aggregazione dei dati di scarto già analizzati nel paragrafo 4.4, che consentano di avere dati quanto più possibile in tempo reale, per limitare eventuali derive sul nascere prima che interi lotti finiscano scartati.

In questa direzione si dirigono due sistemi recentemente realizzati in via sperimentale per avere rilevazioni puntuali in tempo reale: i fogli spunti elettronici e il rilievo in tempo reale di scarti in brasatura e aggraffatura.

Il foglio spunti elettronico ha la stessa funzione dei fogli spunti cartacei analizzati nel paragrafo 4.1, in via sperimentale sono stati collocati dei terminali touch-screen a bordo delle macchine di assemblaggio, attraverso cui l'operatore dell'impianto può effettuare tutte le rilevazioni che già faceva in precedenza; la differenza sostanziale è che i dati sono immediatamente disponibili in formato elettronico e consentono di rilevare tempestivamente eventuali criticità.



Figura 5.36 : esempio di terminale per il foglio spunti elettronico

La seconda forma di rilevazione in tempo reale è utilizzata invece in post-brasatura e aggraffatura, quindi in tutte quelle fasi che portano al collaudo del prodotto. Sono stati collocati dei terminali con ai fianchi pannelli che riportano le causali di scarto accompagnate da un corrispondente codice a barre; in questo modo l'operatore può attraverso una pistola a infrarossi semplicemente selezionare la causale di scarto attraverso il relativo codice. Questi dati vengono riportati in tempo reale su uno schermo (visibile nella Figura 5.37) collocato all'inizio della linea, per modello di radiatore in produzione, nell'area in cui i responsabili della gestione e delle tecnologie possono prenderne visione e valutare eventuali derive.



Figura 5.37 : esempio di una schermata sul terminale di inizio linea che riporta i dati rilevati a fondo linea

Nella Figura 5.38 è possibile invece osservare uno dei terminali collocati a fondo linea sulle postazioni di aggraffatura. Sul pannello di sinistra sono riportate le causali di difetti che risultano riparabili (evidenziate in giallo), su quello di destra invece sono presenti tutte le

causali che provocano lo scarto del pezzo prodotto (evidenziate in rosso); lo stesso criterio a livello di colore viene adottato per riportare i dati sul terminale di inizio linea.



Figura 5.38 : postazione di rilevamento dello scarto in aggraffatura

6 Conclusioni

Questa tesi, maturata nel contesto del tirocinio presso l'azienda Denso Thermal Systems Spa di Poirino, si è posta l'obiettivo di affrontare due problematiche relative alla produzione di radiatori in ambito automotive, la gestione delle scorte e la riduzione dello scarto; è possibile osservare come queste tematiche risultino certamente attuali in molti contesti produttivi, in cui si tende alla minimizzazione delle scorte, che comportano costi e rischi come evidenziato, e ogni azienda voglia evitare di generare scarti, che comportano costi extra, oltre alla necessità di gestione e smaltimento dei materiali.

Il buffer dei componenti stampati è stato riorganizzato e il dimensionamento in linea generale ha prodotto il risultato ricercato, con un riordinamento dei materiali prima stoccati in maniera casuale, soprattutto per la sezione relativa alle masse radianti; sono state rilevate ulteriori criticità per i prodotti a basso volume utilizzati molto raramente, che si è scelto di stoccare a parte, su pedane in magazzino, per recuperare superficie da dedicare a parti a volume più consistente, e alla gestione dei vuoti di ritorno dal reparto di assemblaggio, per cui è stata individuata un'area esterna al buffer. Si rileva inoltre la necessità di aggiornare il dimensionamento ogni qualvolta siano disponibili nuovi dati di produzione (quindi almeno con cadenza annuale) per valutare aggiornamenti della struttura che risultino più funzionali, essendo presente una molteplicità di prodotti che si trovano in un momento diverso della loro vita utile. Occorre osservare come in generale i dimensionamenti effettuati si riferiscono a dati medi, che occasionalmente si scontrano con la pratica di produzione, che di fatto non segue andamenti medi, ma piuttosto oscillanti; questo comporta criticità minori su componenti con elevati volumi produttivi e conseguente maggiore assorbimento da parte dei reparti cliente, mentre manda in crisi il sistema su componenti a volumi medio-bassi, dove in caso di eccesso di produzione rispetto alla capacità del buffer, è più difficile che questo venga tempestivamente compensato da un assorbimento da parte del reparto di assemblaggio.

Al momento il buffer viene gestito a vista in relazione alla capacità allocata, è possibile e sarebbe auspicabile la futura implementazione di un sistema di gestione dello stoccaggio che permetta un più accurato controllo della produzione e degli assorbimenti.

Il buffer dei tubi è invece stato dimensionato ma solo parzialmente riorganizzato, questo rende difficile fare valutazioni sulla funzionalità del dimensionamento effettuato; le aree riorganizzate

sembrano garantire lo spazio necessario ma solo con il sistema completo e a regime sarà possibile effettuare ulteriori considerazioni. La criticità principale è costituita dalla gestione dei carrelli vuoti, che risultano occupare molto spazio, per cui si stanno valutando aree che possano essere dedicate a questo stoccaggio.

Anche per il deposito dei tubi valgono le considerazioni evidenziate per il buffer dei componenti stampati sulla gestione a vista, sull'utilizzo di andamenti medi per il dimensionamento e sull'aggiornamento dei dati di produzione.

Per quanto concerne la riduzione dello scarto, sulla tube mill 9 si può considerare raggiunto un buon obiettivo di riduzione, considerando il passaggio dall'11% circa di scarto di settembre 2019 al 3,53% di luglio 2020, attraverso le azioni messe in atto sulla macchina. Occorre tuttavia tenere in considerazione anche il cambiamento dal punto di vista produttivo dell'assetto della macchina, che nel periodo considerato ha avuto una graduale riduzione dei modelli e delle quantità di tubo da produrre, andando quindi a limitare i cambi tipo e gli scarti associati; non è da escludere che la consistente riduzione della percentuale di scarto sia riconducibile a una combinazione di entrambi i fattori, piuttosto che delle sole azioni messe in campo, ma è impossibile andare a separare quantitativamente il peso dei due contributi.

È importante portare avanti il lavoro di rilievo e analisi dei dati di scarto, innanzitutto perché data la complessità della macchina e il delicato equilibrio di parametri con cui si trova a lavorare è necessario che sia tenuta sotto controllo costante; inoltre l'analisi delle cause degli scarti prodotti consente a livello generale, non solo per i tubi, di andare gradualmente a isolare i fattori maggiormente influenzanti l'indicatore di percentuale, che risulta il più significativo, e cercare delle contromisure che permettano un miglioramento continuo.

In un'ottica sia di minimizzazione delle scorte che delle percentuali di scarto le tecniche di lean manufacturing possono fornire strumenti utili e integrati per ottimizzare la produzione, quindi i tempi (si è osservato come la riduzione del lead time porti naturalmente al miglioramento di molti aspetti produttivi); l'effetto è che si può raggiungere anche un'ottimizzazione economica, che si colloca tra gli obiettivi principali di ogni impresa.

Tra i possibili sviluppi futuri di questo lavoro, hanno senza dubbio un posto di rilievo tutte le azioni e/o tecniche che consentiranno di andare a valutare i dati di scarto e di qualità in tempo reale (di cui si è fatto cenno nella parte conclusiva della tesi); infatti individuare tempestivamente derive degli indicatori potenzialmente potrebbe prevenire una parte consistente della generazione dello scarto complessiva da parte dei reparti.

Infine, l'utilizzo di sistemi elettronici integrati sulle macchine dovrebbe snellire e rendere più veloce e fluido il flusso delle informazioni che, come si è potuto osservare, è complementare al flusso dei materiali, quindi del valore potenzialmente producibile dall'azienda.

7 Bibliografia

1. **Gogineni, Prudhvi, Gada.Vinay, G.Suresh Babu.** Cooling Systems in Automobiles & Cars. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*. Aprile 2013.
2. *Heavy Duty Heating and Cooling Conference.* **NARSA, [a cura di].** Settembre 2012.
3. **Chirone, E. e Tornincasa, S.** *Disegno tecnico industriale.* Torino : Il Capitello, 2011. Vol. 1.
4. *Hydro.com.* [Online]
5. **Thulukkanam e Kuppan.** *Heat Exchanger Design Handbook.* Second Edition. Boca Raton : CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013.
6. **Association, European Aluminium.** *The Aluminium Automotive Manual - Applications - Power Train - Heat Exchangers.* 2011.
7. **Bergman, Theodore L., et al.** *Fundamentals of Heat and Mass Transfer.* Seventh edition. s.l. : John Wiley & Sons, Inc, 2011.
8. **Denso Thermal Systems SPA.** Presentazione "Assemblaggio".
9. **Zanardi, L. Denso Thermal Systems SPA.** Presentazioni "Cosa è la brasatura".
10. **Womack, James P. e Daniel, Jones T.** *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation.* New York : Free press, 2003.
11. **Wang, John X.** *Lean manufacturing: Business Bottom-Line Based.* Boca Raton : CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011.
12. **Chirone, E. e Tornincasa, S.** *Disegno tecnico industriale.* Torino : Il Capitello, 2011. Vol. 2.
13. **Denso Thermal systems SPA.** Presentazione "Formazione aletta".
14. **Wilson, Lonnie.** *How to implement lean manufacturing.* s.l. : McGraw-Hill, 2010.
15. **Abate, Alberto.** *La sostenibilità nei processi produttivi: lo strumento della Sustainable Value Stream Mapping.* Impianti industriali, Alma mater studiorum - Università di bologna. Bologna : s.n., 2018. Tesi di laurea magistrale.
16. **Ohno, Taiichi.** *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production.* s.l. : Productivity Press, 1988.

17. **Womack, Jones P., Jones, Daniel T. e Roos, Daniel.** *The Machine That Changed the World*. New York : Macmillan Publishing Company, 1990.