



**Politecnico  
di Torino**

**Politecnico di Torino**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

A.a. 2021/2022

Sessione di Laurea Ottobre 2022

**Studio e classificazione dei difetti nei getti  
di fusione di un'azienda produttrice di  
pompe per il settore navale ed industriale**

Relatori:

Prof. Gianfranco Genta  
Ing. Antonio Gaglio

Candidato:

Elias Ciro Triolo

## *RINGRAZIAMENTI*

*Ringrazio il Prof. Genta, per avermi guidato e supportato nella fase più importante del mio percorso accademico.*

*Un sentito grazie all' Ing. Gaglio, correlatore di tesi, per il supporto costante, le dritte indispensabili e la sua complicità nella realizzazione di ogni capitolo della mia tesi.*

*Ringrazio la Pompe Garbarino S.p.A. per avermi dato la possibilità di svolgere il mio lavoro di tesi in un luogo interessante e dinamico, che mi ha permesso di mettermi in gioco e fare un' esperienza che sarà preziosa per il mio futuro.*

## INDICE

ABSTRACT .....	4
CAPITOLO 1 L'azienda: Pompe Garbarino S.p.A.....	5
1. Storia e profilo aziendale.....	5
2. Sistema Controllo Qualità.....	10
CAPITOLO 2 Organizzazione dei processi aziendali .....	12
1. I processi aziendali della Pompe Garbarino S.p.A. ....	12
2. Il processo di approvvigionamento e i controlli sui materiali .....	16
CAPITOLO 3 La realizzazione dei getti di fusione .....	24
1. Dal disegno al modello .....	24
2. Dal modello al pezzo grezzo .....	31
CAPITOLO 4 Le Prove Non Distruttive (PND).....	43
1. L'esame visivo.....	47
2. I liquidi penetranti .....	48
3. La Magnetoscopia.....	50
4. La Radiografia .....	52
5. Gli Ultrasuoni.....	54
CAPITOLO 5 Classificazione dei difetti e analisi dati.....	58
1. Identificazione e classificazione dei difetti nei getti di fusione.....	58
2. Standard Practice MSS SP-55-2011 .....	60
3. Studio e analisi dei dati.....	63
CAPITOLO 6 Conclusioni .....	78
BIBLIOGRAFIA E SITI WEB CONSULTATI.....	80

## **ABSTRACT**

Il seguente lavoro di tesi è il risultato di uno studio svolto presso l'azienda Pompe Garbarino S.p.A. nell'ambito della qualità e, nello specifico, nel controllo qualità dei getti di fusione. Lo scopo del lavoro è quello di individuare delle possibili correlazioni tra la difettosità dei pezzi ed eventuali criticità nel processo di fonderia e/o di modellaria, in modo tale da proporre delle soluzioni che vadano a limitare e/o mitigare, ove possibile, il rischio di avere dei pezzi non conformi da lavorare tale così da minimizzare ritardi di produzione e/o lead time commerciali e di consegna.

L'elaborato prevede il primo capitolo in cui si parla brevemente dell'azienda presso cui è stato svolto il lavoro, il mercato di riferimento in cui opera, i prodotti realizzati e le certificazioni di cui è in possesso.

Nel secondo capitolo, dopo una breve introduzione della struttura organizzativa e dei processi aziendali che ne regolano il globale funzionamento, viene presentato il processo di acquisto, dal criterio di scelta e mantenimento dei fornitori al controllo in accettazione dei materiali, oggetto di approvvigionamento.

Il terzo capitolo riguarda il processo di realizzazione dei getti di fusione, dalla fase di progettazione dell'attrezzatura alla produzione del pezzo grezzo.

Nel quarto capitolo vengono esposti i metodi per le verifiche di qualità dei getti di fusione realizzati, ovvero i cosiddetti *Controlli Non Distruttivi* o *Prove Non Distruttive*.

Infine il quinto capitolo è dedicato alla classificazione e allo studio dei difetti comunemente riscontrati. L'analisi dei dati storici aziendali, relativi alle non conformità registrate nel corso degli anni, è la base per trarre delle considerazioni di carattere statistico, utili al fine del raggiungimento dell'obiettivo del seguente lavoro di tesi.

## CAPITOLO 1

### L'azienda: Pompe Garbarino S.p.A.

#### 1. Storia e profilo aziendale



*Figura 1 – Logo Pompe Garbarino S.p.A.*

La Pompe Garbarino S.p.A. nasce ad Acqui Terme, in provincia di Alessandria, nel 1932 in risposta alle esigenze di pompaggio delle aziende vinicole e degli acquedotti circostanti. Dopo la guerra il suo fondatore, Paolo Garbarino, decide di entrare in nuovi mercati e ad inizio anni '50 incomincia la collaborazione con la Marina Militare Italiana grazie alla quale l'azienda entra poi, successivamente, nel settore navale mercantile, producendo pompe per i principali servizi di bordo.

Da quel momento inizia la crescita costante che ha portato la Pompe Garbarino a fornire i più importanti cantieri navali in Europa e Asia ed a diventare leader mondiale nel settore navi da crociera, nonché fornitore ufficiale della Marina Militare Italiana e di diverse Marine Militari straniere, tra cui quella spagnola, francese, russa, thailandese, sudafricana, messicana e tante altre ancora. Pur conservando come “core business” il settore navale (diviso in navi da crociera, navi mercantili, megayacht, piattaforme offshore e unità militari), all'inizio degli anni '80 viene presa la decisione di diversificare entrando nel settore industriale costituito

dalle società di ingegneria, impianti chimici e petrolchimici, impianti di desalinizzazione, centrali elettriche, acciaierie, ecc.

Attualmente l'azienda ha uno stabilimento ad Acqui Terme. La società possiede inoltre una vasta rete di agenti nelle principali aree industriali del mondo. L'azienda è in continua espansione ed ha notevolmente incrementato il fatturato in questi ultimi anni. Tutto il management è fermamente impegnato nel continuo miglioramento dell'immagine aziendale facendo leva, oltre che sull'affidabilità dei prodotti e del servizio alla clientela, elementi essenziali per la loro soddisfazione, anche sulla minimizzazione degli impatti ambientali in tutte le fasi del processo produttivo. Per tale motivo l'azienda oltre ad organizzare un efficiente servizio di assistenza post-vendita in grado di fornire ai clienti assistenza tecnica "in loco" in ogni parte del mondo, ha introdotto un sistema di monitoraggio e controllo ambientale del proprio sistema produttivo in modo da garantire uno sviluppo sostenibile.

Oggi la Pompe Garbarino S.p.A. rappresenta una delle più grandi realtà a livello mondiale nella costruzione di pompe centrifughe e volumetriche nel settore navale ed industriale.

Evitando volutamente le grandi produzioni di serie, la Pompe Garbarino S.p.A. ha potuto dedicarsi alla ricerca tecnologica e così introdursi in settori sempre più sofisticati ed esigenti.

L'attenzione focalizzata sul miglioramento continuo del prodotto che viene sviluppato in base alle richieste del cliente, selezionando i materiali più adatti alle diverse applicazioni, ha consentito all'azienda di crescere negli anni rafforzando sempre di più la propria posizione.

La società ha infatti un'organizzazione tecnica molto flessibile, articolata secondo un processo decisionale molto rapido, in grado di stabilire una dinamica e fruttuosa collaborazione con i clienti, sia nel mettere a punto prodotti in funzione delle varie esigenze

di processo, che nel selezionare i materiali più adatti ai vari servizi, riuscendo a soddisfare condizione operativa o specifica tecnica.

Si può spaziare da pompe per applicazioni navali come pompe raffreddamento motore principale, raffreddamento ausiliari, servizio zavorra, servizio sentina, servizio alimentazione caldaia, servizio circolazione acqua economizzatore, servizio antincendio, servizio acqua dolce, circolazione acqua refrigerata impianto condizionamento, circolazione acqua dolce, alta/bassa temperatura, trasferimento acque nere/grigie, servizio trasferimento olio/gasolio, servizio lubrificazione motore principale, trasferimento morchie, servizi generali, sistema scrubber e trattamento acqua zavorra, a pompe per applicazioni industriali come pompe trasferimento acidi e liquidi alcalini puliti o con particelle solide, servizio acqua dolce e acqua mare, alimento caldaia, osmosi inversa, servizio impianti chimici, trasferimento condensato, servizio di drenaggio, servizio circolazione acque, servizio condizionamento, raffreddamento, refrigerazione, trasferimento idrocarburi. I diversi materiali più comunemente impiegati sono ghise (ghisa grigia G25; ghisa sferoidale GS400 e GS600), bronzi (bronzi allo stagno B10 e BZN4; bronzi nichel alluminio ASTM B148C95800), acciai martensitici (AISI 410 e 420) acciai austenitici (AISI 304; AISI 304L; AISI 316L; AISI 317L), acciaio al carbonio, duplex e superduplex (ASTM A890 grado 4a, 5a, CD4MCU) e leghe speciali (Monel; Hastelloy; Alloy 20; Incoloy 825).

L'azienda realizza una vasta gamma di prodotti per soddisfare qualsiasi tipo di richiesta da parte del cliente. In particolare per quanto riguarda le pompe centrifughe possiamo trovare diversi modelli così classificati:

- MU: Pompe normalizzate EN 733 (la norma specifica le designazioni, i punti di funzionamento nominali e le dimensioni principali delle pompe centrifughe ad aspirazione assiale, alla pressione nominale di 10 bar)
- MU – L: Pompe verticali in line (Fig.4)
- MU – LDS: Pompe verticali in line a doppia aspirazione
- MCA: Pompe con girante arretrata ad effetto vortice
- VS: Pompe sospese ad asse verticale
- VL: Pompe lubrificazione motore principale
- CN: Pompe chimiche normalizzate ISO 2858 – ISO 5199
- ZN: Pompe circolazione oli diatermici (Fig.3)
- G/GH: Pompe multistadio ad alta pressione
- BT: Pompe a canali laterali
- AD: Pompe autoadescanti con girante aperta
- MM: Pompe centrifughe antincendio (Fig.2)
- MU/MPF: Pompe trasportabili antincendio

Per quanto riguarda le pompe volumetriche invece possiamo trovare i seguenti modelli:

- P: Pompe a disco cavo oscillante (Fig.5)
- IN/INML: Pompe ad ingranaggi
- SWL: Pompe a pistoni





Figura 2 – Pompa MM (Pompa navale antincendio)



Figura 3 – Pompa ZN (Pompa circolazione olii)



Figura 4 – Pompa MU-L (Pompa centrifuga verticale in line)



Figura 5 – Pompa P (Pompa a disco cavo oscillante)

## **2. Sistema Controllo Qualità**

Da sempre gli uomini e le organizzazioni si sono posti il problema di come realizzare prodotti e raggiungere i risultati desiderati per soddisfare una o più esigenze, ovvero con quale organizzazione, risorse, metodi e strumenti, in sintesi, con quale sistema di gestione.

Un elemento decisamente importante per qualsiasi contesto aziendale è senza dubbio la gestione della qualità, un'espressione dal significato piuttosto complesso, che oltre a un particolare aspetto di un'organizzazione si riferisce a una vera e propria filosofia da seguire e perseguire per il raggiungimento di determinati obiettivi.

Il Sistema di Gestione per la Qualità (SGQ), è una raccolta di politiche, processi, procedure documentate e registrazioni. Questo insieme di documenti definisce le regole interne che delimitano il modo in cui l'azienda crea e fornisce il prodotto o il servizio ai clienti. La norma ISO 9001, a questo proposito, fornisce un insieme di linee guida per fare in modo che non venga trascurato nessun elemento importante, necessario per il successo di un SGQ.

La Pompe Garbarino S.p.A. è certificata ISO 9001: 2015 ed ISO 14001: 2015 dal RINA. L'azienda è anche in possesso della certificazione NATO AQAP 2110 rilasciata dal ministero della Difesa Italiana e rispetta le severissime specifiche da questa imposte, in accordo alle pubblicazioni NATO AQAP. Vengono svolte infatti esecuzioni molto sofisticate come antishock, antirumore, antivibrazione e amagnetiche.

L'obiettivo dell'azienda è stato sempre quello di fornire garanzie estese nel tempo, per questo vengono imposti severi controlli di qualità: dal controllo di accettazione dei materiali in ingresso, passando per i controlli intermedi ad ogni fase lavorativa, fino ad arrivare ai collaudi e prove finali di qualificazione con rilievo delle prestazioni per ogni singola pompa.

I prodotti vengono inoltre testati, direttamente o per conto di essi attraverso collaudo alternativo fiduciario, da vari Enti, Registri nazionali e/o internazionali, tra i quali RINA (Registro Navale Italiano), ABS (American Bureau of Shipping), BV (Bureau Veritas), LR (Lloyd's Register), DNV (Det Norske Veritas), NKK (Nippon Kaiji Kyokay), RS (Russian Maritime Register of Shipping), RR (Russian River Register), BKI (PT.Biro Klasifikasi Indonesia).

Nel settore navale militare le pompe vengono prodotte e testate secondo le normative NATO, di seguito indicate:

- MIL STD 167 1 (vibrazioni meccaniche)
- MIL STD 740 1 (rumore aereo)
- MIL STD 740 2 (vibrazioni strutturali)
- MIL S 901 D (shock test)
- Versioni amagnetiche

## CAPITOLO 2

### Organizzazione dei processi aziendali

#### 1. I processi aziendali della Pompe Garbarino S.p.A.

La Pompe Garbarino S.p.A., in accordo alla norme ISO 9001: 2015, ISO 14001, ISO 31000, adotta l'approccio per processi, cioè gestisce i processi, le loro interazioni e il sistema nel suo complesso tramite la metodologia Plan-Do-Check-Act, promuovendo un orientamento al Risk-Based Thinking finalizzato ad individuare i fattori che potrebbero generare effetti indesiderati e quelli che potrebbero costituire delle opportunità di miglioramento.

I processi relativi all'organizzazione possono essere suddivisi tra:

- Processi principali: processi strettamente legati alla realizzazione del prodotto o servizio e quindi relativi alla “progettazione, realizzazione e assistenza relativamente a pompe centrifughe, autoadescanti, volumetriche e packages”.
- Processi complementari di supporto: processi importanti per assicurare il corretto funzionamento aziendale, riferiti ai servizi organizzativi e gestionali trasversali, non direttamente correlabili al prodotto realizzato o servizio reso.

La seguente figura (Fig.6) illustra uno schema che rappresenta il modello dettagliato dei processi principali e complementari dell'azienda.

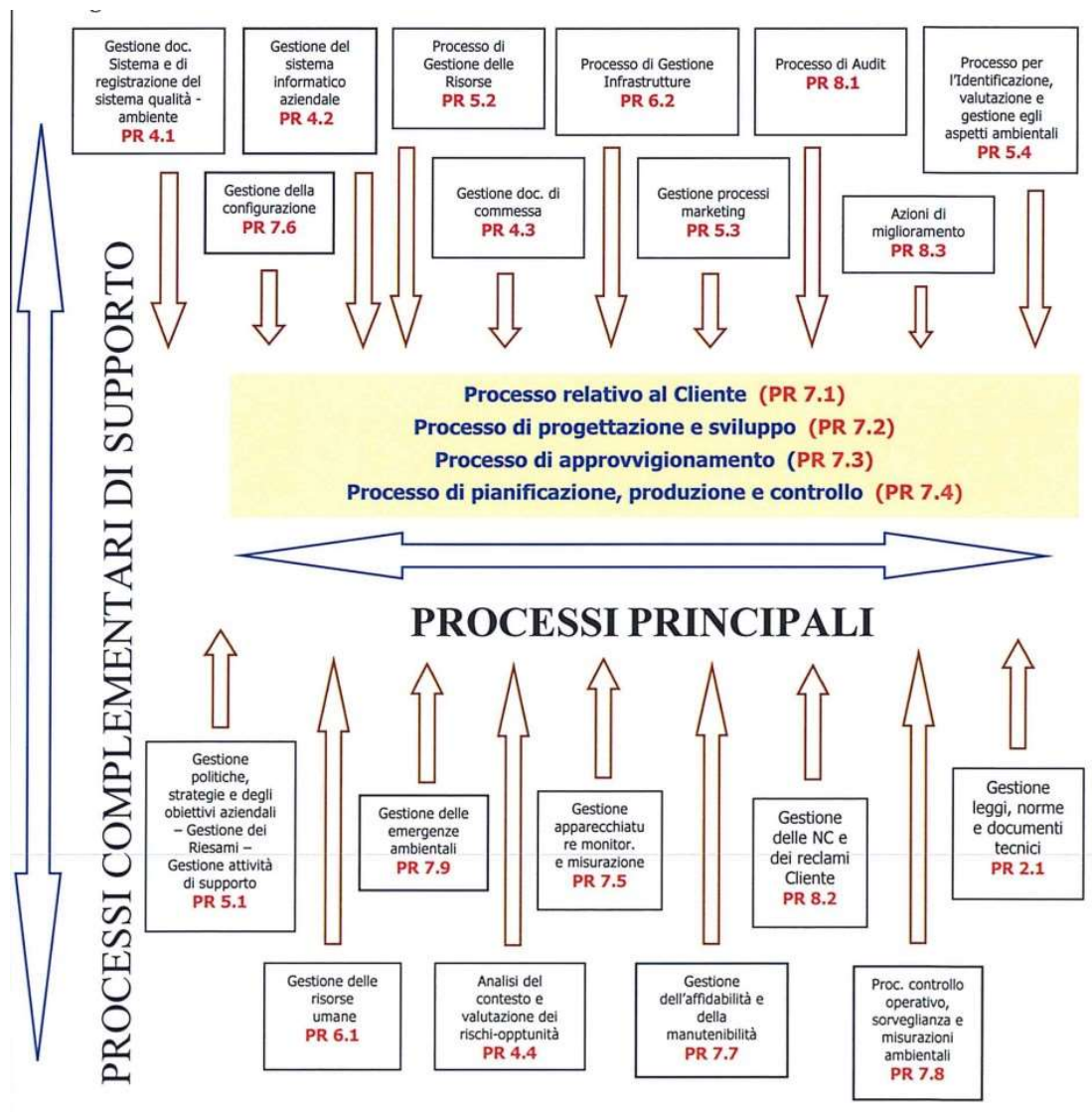


Figura 6 – Modello dettagliato dei processi principali e complementari dell'azienda

Considerando la definizione di processo data dalla norma internazionale ISO 9001: 2015, che definisce appunto “processo” come quell’insieme di attività correlate o interagenti che utilizzano input per consegnare un risultato atteso indicato come output, prodotto o servizio, a seconda del contesto di riferimento e precisando che gli input di un processo sono generalmente gli output di altri processi e gli output di un processo sono generalmente gli input di altri processi, l’organizzazione dell’azienda è stata considerata come una sequenza

logica e temporale di processi che, se eseguita in maniera adeguata, può portare alla realizzazione di output soddisfacenti e di alta qualità. Tale sequenza è rappresentata da:

- Processo di offerta e negoziazione commerciale.
- Processo relativo alla gestione della commessa e della distinta: dopo la ricezione della conferma d'ordine del cliente, l'Ufficio Commerciale crea il file di commessa il quale verrà poi analizzato dall' Ufficio Tecnico e dall' Ufficio Collaudi. In seguito si procederà con la creazione della distinta e la definizione del fabbisogno.
- Processo di accettazione materiale e gestione del magazzino: una volta stabilito il fabbisogno, generalmente attraverso l'MRP, si effettua un controllo di quello che serve ai job e la giacenza a magazzino. Se il materiale non è presente a magazzino si genera un ordine di acquisto. Una volta arrivato il materiale questo viene sottoposto a diversi controlli.
- Processo delle lavorazioni meccaniche: l'Ufficio Programmazione della Produzione emette il fabbisogno di lavorazione meccanica in base alle commesse e assegna priorità e tempi di esecuzione. Viene effettuata una movimentazione di merce dal magazzino alle macchine che dovranno lavorare i pezzi grezzi.
- Processo di montaggio/assemblaggio: dalle "lavorazione meccaniche" arrivano i pezzi lavorati , dal magazzino vengono prelevati gli altri pezzi che andranno a comporre quella specifica pompa.
- Processo di pressatura idrostatica: si va a verificare tramite la pressatura idrostatica la presenza di eventuali perdite.
- Processo di collaudo funzionale: vengono effettuati controlli che vanno a testare caratteristiche idrauliche ed elettriche.

- Processo di verniciatura.
- Processo di imballaggio e spedizione.

Questi processi sono meglio schematizzati evidenziando tutte le relazioni e interrelazioni nella seguente figura (Fig.7).

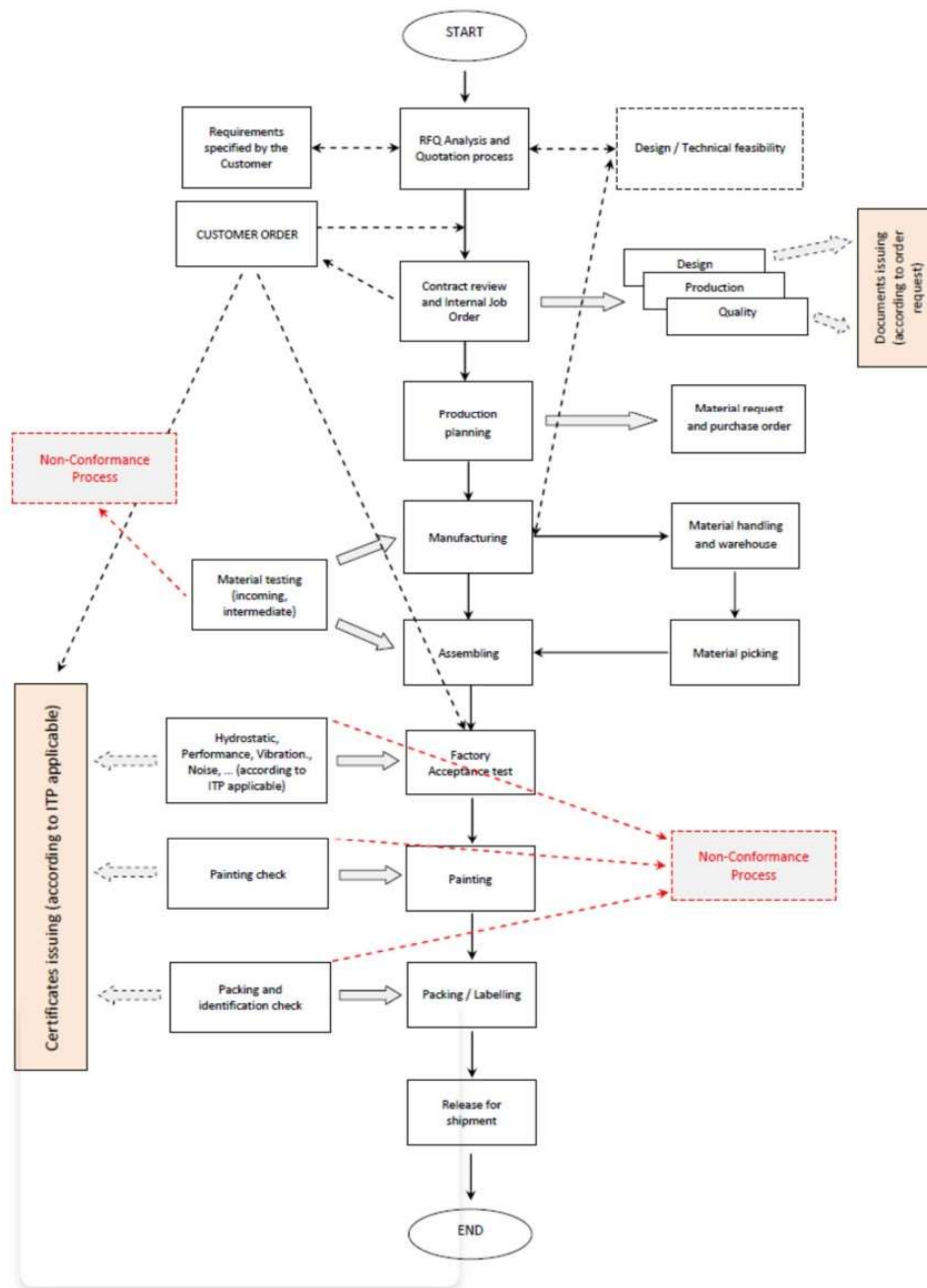


Figura 7 – Processi aziendali Pompe Garbarino S.p.A.

## **2. Il processo di approvvigionamento e i controlli sui materiali**

Tra i vari processi, quello di approvvigionamento del materiale rappresenta un fattore molto critico in quanto detta i tempi e la qualità per tutte le fasi successive.

La Pompe Garbarino S.p.A. adotta una “Politica degli Acquisti” che viene usata come linea guida di comportamento atta a sensibilizzare il Servizio acquisti e a stimolare il Fornitore (potenziale o acquisito) sulle tematiche ambientali e in ottica di efficienza ed efficacia. Questo viene fatto allo scopo di rendere il processo di approvvigionamento trasparente nei confronti degli attori interni ed esterni.

Il processo di approvvigionamento inizia con la scelta dei fornitori che viene effettuata dallo Ufficio Acquisti che in base al documento denominato “Elenco dei fornitori approvati”, elemento di output del processo di valutazione e mantenimento dei fornitori, valuta il miglior fornitore per quel tipo di commessa. La necessità o l’esigenza di utilizzare nuovi fornitori non facenti parte di tale elenco viene segnalata dall’ Ufficio Acquisti al Servizio Controllo Qualità e/o alla Direzione Sistema Integrato, che provvederà ad eseguire gli accertamenti valutativi necessari per la qualifica del fornitore potenziale. Nel caso in cui il fornitore sia imposto dal Committente, tale situazione viene segnalata al Servizio Controllo Qualità che deciderà per una eventuale qualifica. Inoltre per alcuni tipi di prodotti non è necessario l’impiego di fornitori approvati.

La valutazione di un fornitore può avvenire secondo una delle seguenti metodologie:

- Approvazione su base storica, valutando le esperienze di forniture precedenti.
- Valutazione della struttura organizzativa e controlli qualitativi su campioni di prodotto.



- Accertamento sul posto e valutazione delle capacità del fornitore e/o del suo sistema di qualità- ambiente.
- Attraverso referenze su esperienza diretta di altri utilizzatori.
- Accettazione del fornitore in quanto in possesso di certificazione del proprio sistema qualità/sistema di gestione ambientale da parte di un Ente Accreditato.

Per ogni fornitore viene emessa una scheda qualifica dove sono indicati il metodo di valutazione e gli esiti. A tale scheda vengono allegati gli eventuali questionari, le certificazioni del fornitore e tutto quanto derivante dalle attività di valutazione. Alla fine il fornitore può essere classificato in tre modi: Qualificato, Non Qualificato, Qualificato Sotto Condizione (derivante dalla metodologia di valutazione scelta).

I fornitori nei confronti dei quali non vengono emessi ordini per cinque anni vengono sottoposti ad una nuova valutazione. In caso di riqualifica del fornitore, questo viene considerato come un nuovo soggetto, tenendo però in buona considerazione il trascorso di esperienza maturato negli anni.

Il mantenimento dello status di fornitore approvato, avviene annualmente a cura della Direzione Sistema Integrato attraverso la valutazione dei seguenti parametri:

- Qualità: il parametro qualità viene espresso attraverso un indice che tiene conto della difettosità riscontrata sui particolari acquistati, estrapolati dal sistema informativo aziendale e formalizzati attraverso il Rapporto di non Conformità, valutato considerando l'intero periodo di validità della qualifica.
- Servizio (rispetto data di consegna): il parametro servizio viene valutato tenendo conto delle performance sulle consegne, utilizzando i dati estrapolati dal sistema informativo aziendale su tutto il periodo di validità della qualifica.

Al fine di evidenziare criticità e/o prevenire eventuali scostamenti in negativo nel processo di approvvigionamento, nella scheda di qualifica del fornitore viene riportato un indicatore di “tendenza” sulle performance rese ed i parametri qualità e servizio valutati sugli acquisti effettuati nell’ultimo anno solare. In questo modo il Servizio Acquisti può usare questi dati come ulteriore discriminante nella scelta del fornitore per minimizzare il rischio legato all’approvvigionamento.

- Rispetto delle norme/istruzioni ambientali: questo parametro viene quantificato con il numero e la gravità delle non conformità aventi impatto ambientale, attestati dall’emissione di un Rapporto di non Conformità ambientale, emesse nei confronti del fornitore stesso nel periodo di validità della qualifica.

In aggiunta ai parametri di performance sopra indicati la valutazione e/o omologazione del fornitore può basarsi anche sui risultati di analisi di campionature dei prodotti approvvigionati a cura di enti terzi e/o di laboratori. Tali riscontri verranno poi riportati nella scheda fornitore a giustificazione del mantenimento della qualifica.

Una volta individuati i fornitori più idonei a soddisfare le esigenze di Pompe Garbarino S.p.A., si passa ad analizzare il fabbisogno di materiali in modo tale da poter emettere gli ordini di acquisto.

Le necessità di approvvigionamento possono scaturire da:

- Materiali da acquistare specificatamente su commessa: motori, componenti particolari (giunti, tenute meccaniche), componenti accessori da fornire a corredo delle pompe, pompe non di produzione Pompe Garbarino che sono commercializzate.
- Materiali da acquistare su proposte dell’ MRP.

- Materiali da acquistare come fabbisogno di utensili ed attrezzature di normale consumo necessari al processo produttivo.
- Materiali definiti come “sussidiari” e/o di “Conto Lavorazione”.

Una volta formalizzate le richieste di acquisto, si passa alla preparazione dei documenti di acquisto che devono contenere, chiaramente descritte, le caratteristiche del prodotto, includendo, ove applicabile, il tipo, classe, modello, grado o altre precise identificazioni, ma anche le specifiche tecniche cui il prodotto deve rispondere e il titolo, numero ed emissione delle norme internazionali di accettazione che devono essere applicate al prodotto.

Il materiale acquistato, una volta arrivato in azienda, prima di essere stoccato a magazzino, viene scaricato nell’area ricevimento merci dello stabilimento. Qui i diversi prodotti acquistati vengono collaudati e controllati verificandone la conformità ai requisiti richiesti. È responsabilità dell’ufficio accettazione materiali del Servizio Controllo Qualità procedere alle verifiche sul materiale approvvigionato per il rilascio in produzione.

Il processo per il controllo di qualità del materiale approvvigionato si basa sulle seguenti attività:

1. Verificare lo stato degli imballi del materiale consegnato al fine di constatare la presenza di eventuali danni dovuti al trasporto.
2. Verificare la congruenza tipologica e quantitativa tra il materiale consegnato e quanto riportato nel documento di accompagnamento merci (documento di trasporto- DDT).
3. Verificare la presenza della documentazione certificativa a corredo della fornitura (ove previsto e/o richiesto).
4. Verificare la conformità tecnico/qualitativa dei materiali approvvigionati.

Ogni tipologia di prodotto in ingresso viene ispezionata in modo differente poiché alcuni materiali richiedono delle verifiche più accurate in quanto presentano caratteristiche che possono rivelarsi critiche se non bene attenzionate. In particolare:

- Per i materiali sussidiari (materiali di consumo, viteria, cespiti, materiali non codificati, utensili ed attrezzature) viene effettuato soltanto un controllo quantitativo. Concluso il controllo, il Magazzino Generale trasmette la propria copia degli ordini di acquisto e i documenti di trasporto all'Ufficio Contabilità che li confronterà con le rispettive fatture.
- Per i materiali in conto lavorazione terzi il 'controllo accettazione' viene effettuato dal Magazzino Ricambi in collaborazione con il Responsabile collaudo accettazione materiale.

L'attività di controllo dei materiali da lavorazioni presso terzi viene effettuato su tutti i lotti in ingresso con controllo a campionamento in funzione della numerosità del lotto stesso (N). Il criterio di accettazione è legato al numero di difettosità che si dovessero riscontrare. Il controllo viene svolto con la seguente modalità:

- se  $N \leq 5$  controllare almeno il 100% dei pezzi approvvigionati.
- se  $5 < N \leq 15$  controllare almeno il 50% dei pezzi approvvigionati.
- se  $N > 15$  controllare almeno il 20% dei pezzi approvvigionati.

Si procede così alla verifica dei pezzi: si analizzano i pezzi e si verifica che questi rispettino le tolleranze specificate sui disegni di riferimento. Se si verifica una condizione di "fuori controllo", ovvero un pezzo del campione risulta non conforme alle specifiche, si effettuerà il controllo al 100% su tutti i pezzi appartenenti al lotto. Nel caso in cui il "fuori controllo" superasse il 25% della totalità del lotto in esame,

i pezzi dovranno essere scartati, opportunamente segregati e dovrà essere emesso un rapporto di non conformità.

- Per i getti di fusione, oltre a verificare la corrispondenza tra i pezzi ordinati e i pezzi consegnati e l'esattezza del modello, viene effettuata un'ispezione visiva dell'aspetto esteriore per verificare macroscopiche mancanze di materiale. La valutazione oggettiva sulla qualità delle irregolarità che si dovessero riscontrare sulle fusioni approvvigionate viene condotta in accordo alle schede fotografiche contenute nella norma MSS SP-55. Un controllo, tramite l'utilizzo dell'apposito strumento endoscopico tipo MSPI-1000 in dotazione all'ufficio accettazione materiali, viene effettuato per verificare la presenza di bave all'interno dei pezzi fusi. Inoltre per ogni pezzo bisogna verificare l'esistenza di un numero di colata e verificarne la corrispondenza con i certificati forniti, ma anche verificare l'esattezza del peso.
- Per le barre viene effettuato un controllo dimensionale e di rispondenza normativa ai requisiti di acquisto.
- Per i motori elettrici viene controllato in primis lo stato di integrità dei materiali ponendo particolare attenzione alla scatola morsettiera, ai piedini ed al copriventola. Da attenzionare sono le seguenti caratteristiche: forma costruttiva e numero di poli/regime rotazionale, nonché le grandezze elettriche quali tensione di alimentazione, frequenza, potenza resa, grado di protezione (IP), classe di temperatura e sovratemperatura.
- Per le tenute meccaniche e i cuscinetti viene verificata l'idoneità della marcatura, così come per le baderne, nelle quali viene controllata anche la sezione.

- Per i giunti di accoppiamento viene verificato se corrisponde la grandezza dimensionale e se questi sono integri, l'esistenza di certificati materiali o di conformità (se richiesti).
- Per accessori vari come manometri, serbatoi, valvole, carene ed in generale di tutti quegli articoli che hanno basso impatto sulla produzione in termini di lead time di approvvigionamento (materiali facilmente reperibili) viene attuato, dopo la verifica di corrispondenza tecnico/documentale al rispettivo ordine di acquisto, un accesso "free-pass". Il controllo funzionale e/o dimensionale è realizzato al 100% durante le successive fasi di montaggio.

Una volta terminati i vari controlli sui diversi tipi di materiali, qualora uno o più pezzi risultino "non conformi", questi verranno segregati e contrassegnati con un cartellino rosso in modo da impedirne l'utilizzo e depositati negli appositi contenitori presenti a livello di reparto. È compito degli addetti al Servizio Controllo Qualità provvedere con regolarità alla verifica dei materiali giacenti in tali contenitori per l'eventuale gestione delle non conformità attraverso il documento denominato "Rapporto di non conformità". Questo documento deve essere completo sia dei dati identificativi il materiale/componente non conforme, sia di una proposta di azione di superamento del problema. Queste possono essere: la riparazione/rilavorazione (interna o esterna) per soddisfare i requisiti necessari; l'accettazione (con riserva/ allo stato/ in deroga) segnalando le eventuali autorizzazioni o declassamenti; la rottamazione; il rifiuto e restituzione al fornitore/cliente (per i materiali in conto lavorazione); la richiesta di adeguamento modelliera.

Il rapporto emesso dovrà essere inoltrato alla Direzione Tecnica ed alla Direzione del Sistema Integrato ai quali spetterà il compito, valutata la proposta di azione di superamento

emessa dal Servizio Controllo Qualità, di definire in ultima analisi l'azione da intraprendere, nonché le modalità, le tempistiche e le responsabilità da mettere in campo per gli eventuali interventi. In seguito, il Servizio Controllo Qualità avrà il compito di completare il rapporto di non conformità, definendo i costi (materiale, manodopera) e imputando le responsabilità (fornitore, interno, clienti), per poi procedere con l'attività di registrazione del numero identificativo del rapporto e di una sua descrizione sintetica.

## CAPITOLO 3

### La realizzazione dei getti di fusione

La Pompe Garbarino S.p.A. produce una vasta gamma di tipi di pompe e possiede più di un migliaio di modelli a copertura della gamma produttiva. Mentre la fase di progettazione e disegno di tutti gli elementi che vanno a formare una pompa, ovvero corpi pompa, giranti, flange, coperchi ecc. viene svolta dall'Ufficio Tecnico dell'azienda, lo step successivo, vale a dire la realizzazione dei modelli e delle casse d'anima (dalle quali verranno poi formate le anime) viene gestita in outsourcing. Sarà l'azienda di modelliera, specializzata appunto nella costruzione di modelli e casse d'anime, che si occuperà, una volta ricevuti i vari disegni tecnici, di soddisfare le richieste dell'azienda. Esternalizzata è anche la fase di realizzazione dei pezzi grezzi, i quali una volta arrivati in azienda saranno poi lavorati (processo delle lavorazioni meccaniche). Numerose sono le fonderie che collaborano nella fornitura di grezzi alla Pompe Garbarino S.p.A. differenziate e specializzate in funzione della metallurgia richiesta.

In questo capitolo, partendo dall'esperienza "sul campo" maturata presso un'azienda di modelliera prima e una di fonderia dopo, verranno fornite delle definizioni e indicazioni sul processo di produzione dei getti di fusione, con lo scopo di analizzarne criticità e mettere in luce aspetti da tenere in considerazione nell'analisi che verrà svolta in seguito.

#### 1. Dal disegno al modello

La realizzazione di una pompa che sia centrifuga o volumetrica inizia con lo studio del suo "tracciato idraulico" (Fig.8), elemento essenziale nella determinazione delle sue caratteristiche idrotecniche e prestazionali. La funzione specifica degli organi delle pompe



idrauliche, in particolare di quelle a palettaggi rotanti, è quella di trasformare in energia di pressione e col miglior rendimento possibile, i quantitativi di energia, che sono ancora sottoforma cinetica, ossia di velocità, all'uscita delle palette delle giranti. La profilazione della voluta dei corpi pompa, mezzo attraverso il quale viene meccanicamente convogliato il flusso della corrente all'uscita della girante (o *impulsore*), impatta direttamente sul grado di trasformazione energetica ottenibile dalla macchina idraulica, e quindi del rendimento energetico conseguibile, in funzione dell'entità delle perdite per attrito in base alle caratteristiche idrotecniche richieste.

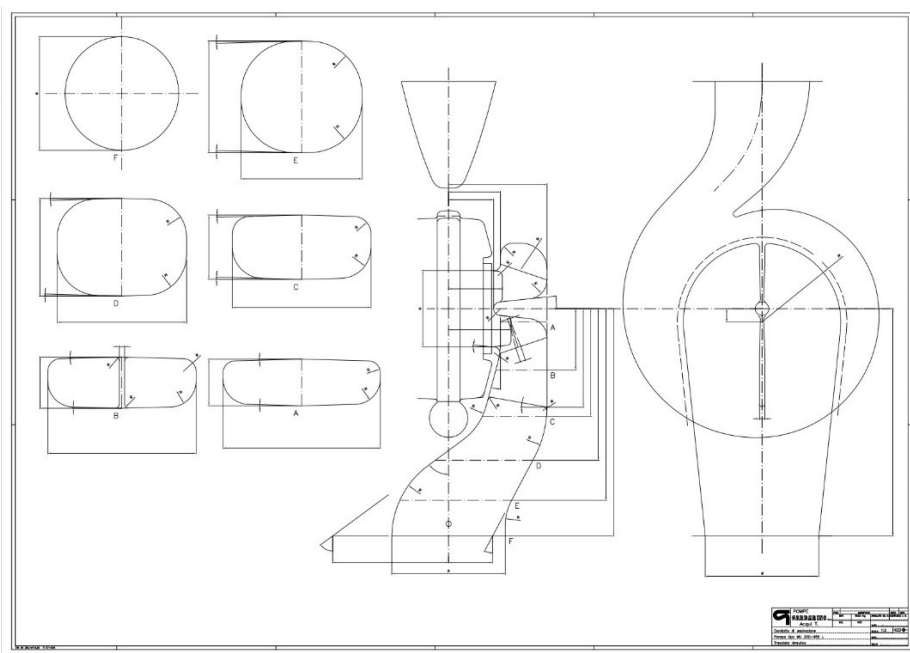


Figura 8 – Tracciato idraulico (particolare del condotto di aspirazione)

Dopo lo studio idraulico si realizza il disegno (Fig.9) con tutte le specifiche dimensionali, il quale servirà da base all'azienda di modellaria per la realizzazione del modello e le relative casse d'anima.

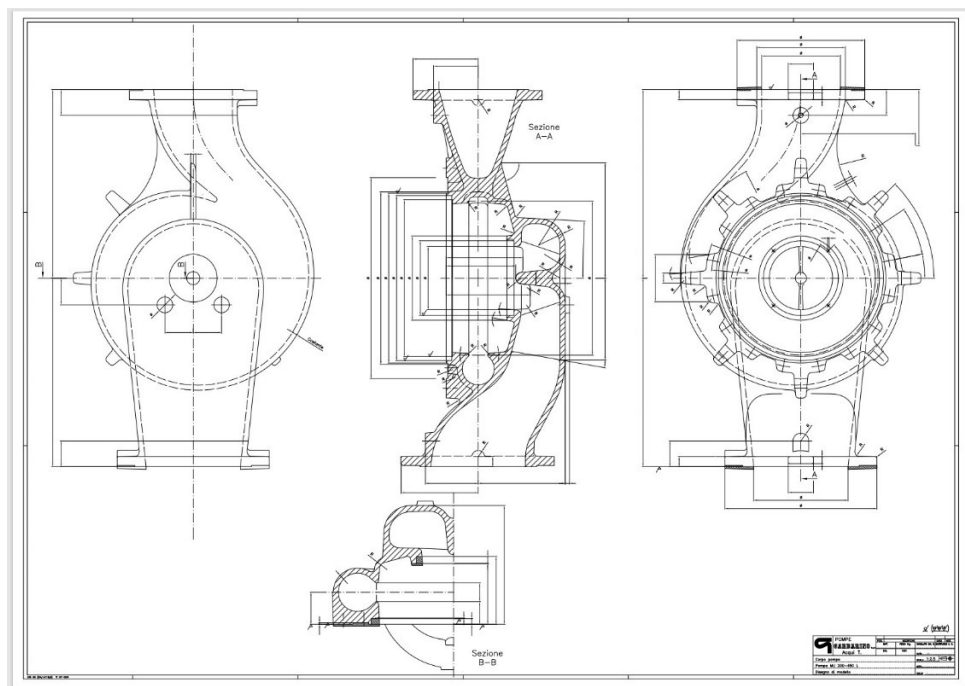


Figura 9 – Disegno di modello (Corpo Pompa MU 200-450L)

Il modello ha la funzione di generare nella forma (terra racchiusa in una cornice chiamata staffa) le superfici corrispondenti a quelle esterne del grezzo fuso; è la riproduzione corretta del pezzo da colare e degli elementi che sono indispensabili per la fabbricazione di un getto esente da difetti (canali di colata e materozze). Le casse d'anima servono per realizzare le anime, le quali hanno lo scopo di creare nel grezzo fuso le cavità previste dal progetto per il corretto flusso idraulico e quindi la risposta funzionale in termini di caratteristiche prestazionali. Il materiale che viene utilizzato frequentemente per la realizzazione di modelli e casse d'anime è il legno, in particolare multistrato in pioppo, in faggio o in betulla al quale viene aggiunta a volte della resina ma non in porzioni superiori agli 8-10 mm di spessore. La resina ha la caratteristica di non degradarsi a contatto con l'umidità della sabbia mentre il legno è sensibile a questa e può deformarsi. Quindi la resina conferisce più resistenza e longevità al modello, per cui sta diventando sempre più comune la realizzazione di modelli totalmente in resina. Per la realizzazione dei modelli vengono utilizzati diversi tipi di resina,

ognuno con costi e caratteristiche diversi che influenzano appunto la resistenza e longevità del modello stesso. Altri materiali utilizzati sono ghisa e alluminio. Le caratteristiche per cui il legno viene privilegiato sono: leggerezza, facilità di lavorazione e basso costo, può essere, in relazione alla sua durezza e all'uso di particolari resine impregnanti, più o meno resistente all'usura e/o al degrado. Di contro è sensibile alla deformazione e per tanto spesso rinforzato con inserti metallici.

Il modello può essere realizzato “*al naturale*”, ovvero a mano come se fosse una scultura, ma nella maggior parte dei casi, a partire dal disegno, viene realizzata una controfigura scavata nella lastra in legno (Fig.10) dando vita così a una riproduzione in negativo del modello. A partire da questa poi si andrà a realizzare il modello vero e proprio.



Figura 10 – Controfigura scavata di una particolare pompa

Le caratteristiche costruttive del modello influenzano in modo diretto la buona riuscita della forma e del grezzo stesso.

In questo senso, precisione, che implica una costruzione di qualità del modello, che dovrà quindi rispettare le quote e le tolleranze indicate sul disegno costruttivo, e durata, che dipende dal tipo di produzione prevista, rappresentano le due caratteristiche più importanti. Per getti di piccola e media dimensione, per produzioni di serie, il sistema più usato è quello della placca modello (sistema utilizzato dai modellisti di riferimento per la Pompe Garbarino S.p.A.) (Fig.11). In questo caso, ogni semi modello viene stabilmente collegato ad una piastra di supporto dotata di idonei sistemi di riferimento con la staffa di formatura; sulla placca vengono inoltre fissati il sistema di colata e le materozze. Inoltre è opportuno realizzare il modello in modo da conservare le sue caratteristiche nel tempo, sia di fronte ai fenomeni di usura derivanti dalle operazioni di formatura, sia alle deformazioni che esso potrebbe subire nella fase di conservazione in magazzino.



Figura 11 – Esempio di placcamodello di un corpo pompa

Le casse d'anima possono essere costituite da un pezzo unico o da più pezzi che vengono poi separati per consentire l'estrazione dell'anima. Le anime sono costituite da materiale refrattario essendo completamente a contatto ed avvolte da metallo liquido.

Il tecnico addetto alla costruzione dei modelli affronta preliminarmente diversi problemi che si possono venire a creare in seguito durante il ciclo di fusione. Uno di questi è la scelta del piano di divisione della forma, affinché il modello possa essere estratto dalla forma stessa senza subire danneggiamenti e/o rotture. Le parti del modello che durante l'estrazione rovinerebbero la forma si dicono in "sottosquadro". Per ovviare a questo problema esistono diverse soluzioni:

- Variazione del progetto: è la soluzione più economica ed è basata su uno stretto rapporto progettista-tecnologo. Il progettista può apportare modeste variazioni al progetto che pur conservando la funzionalità prevista, evitino i problemi di sottosquadro.
- Tasselli: tale metodo consiste nell'utilizzare tasselli preparati separatamente, in pratica delle normali anime montate a sbalzo nella forma, inserite nelle cavità ottenute prevedendo idonee portate d'anima nel modello. Tale metodo è il più utilizzato quando il sottosquadro non può essere eliminato con una scelta differente del piano.
- Modello scomponibile: tale metodo consiste nel realizzare la parte in sottosquadro del modello, mobile, rispetto al resto del modello che rimane fisso. In questo modo, durante la sformatura, la seconda parte viene estratta normalmente, mentre la prima, rimasta nella forma, può essere estratta dal formatore con un'operazione manuale particolarmente delicata e costosa.

La maggior parte dei procedimenti di fusione non permette di ottenere superfici con una qualità macro e micro geometrica tale da soddisfare in pieno le esigenze funzionali del progetto, per cui tale qualità deve essere ottenuta mediante lavorazioni alle macchine utensili. Ne risulta quindi che, sulle superfici che dovranno subire tali lavorazioni, è necessario prevedere uno spessore di materiale da asportare, detto “*sovrametallo*”.

L’entità del sovrametallo da prevedere su una superficie è un compromesso tra due esigenze: una di carattere economico, che tende a ridurre al minimo il materiale da asportare e quindi i tempi di lavorazione e gli sprechi di materiale, e l’altra di carattere tecnologico, che tende a garantire un margine di sicurezza nei confronti di errori di formatura, difetti superficiali, ritiri difficilmente prevedibili. I fattori che influenzano lo spessore di sovrametallo sono: le dimensioni del pezzo ed in particolare della superficie in esame, il tipo di lega con cui il pezzo deve essere realizzato, la qualità della superficie lavorata richiesta nel progetto ed il tipo di formatura utilizzata.

Per agevolare la sformatura, ovvero l’operazione di estrazione del modello dalla forma appena costruita, i modelli devono essere realizzati in modo da eliminare o ridurre al minimo le superfici piane perpendicolari al piano di divisione. Ciò viene ottenuto inclinando tali superfici di un piccolo angolo, detto *angolo di sformatura*. Per i modelli in legno l’inclinazione degli angoli di sforno è di 1°-2°, mentre per i modelli metallici anche di 30°. Tali valori possono essere ridotti, diminuendo così l’entità del sovrametallo da asportare con l’utensile, mediante l’uso di idonea verniciatura nei modelli di legno, o con l’uso di modelli metallici.

Sul modello, per poter creare nella forma idonee sedi di appoggio di anime e/o tasselli eventualmente presenti per risolvere i sottosquadri, devono essere previste le cosiddette “*portate d’anime*”.

Le leghe comunemente impiegate in fonderia subiscono una contrazione volumetrica nell’intervallo compreso tra la temperatura di colata e quella ambiente; ne consegue che il getto risulta di dimensioni inferiori a quelle della forma, per cui questa deve avere dimensioni opportunamente maggiorate rispetto alle dimensioni finali del getto. Tale maggiorazione dovrà essere prevista sul modello. Poiché è difficile prevedere come il getto si contrae nei vari punti, in genere, si utilizza il coefficiente di ritiro lineare medio per maggiorare le dimensioni del modello stesso.

## **2. Dal modello al pezzo grezzo**

Una volta realizzato il modello con tutti gli accorgimenti del caso e le relative casse d’anime, si passa allo step successivo, che nel caso delle Pompe Garbarino S.p.A., è quello di trasportare tali attrezzature presso la fonderia che è stata scelta per la realizzazione dei grezzi. Lo schema seguente (Fig.12) sintetizza le varie fasi del processo di produzione dei pezzi grezzi.

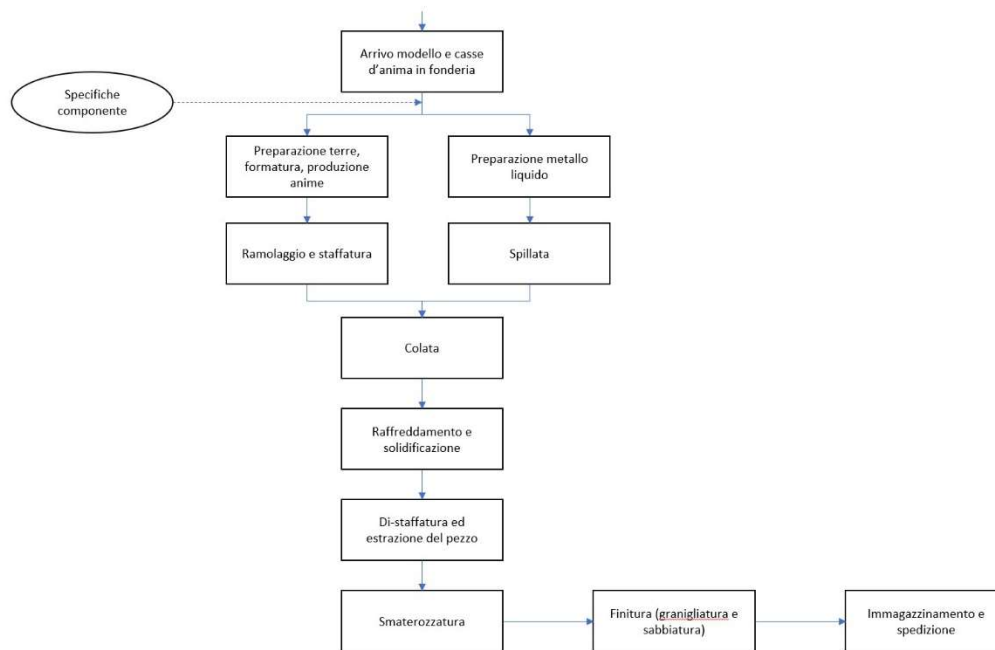


Figura 12 – Schema del processo di produzione dei pezzi grezzi

La prima fase del processo di realizzazione dei pezzi di fusione è quella che comprende la preparazione delle terre, la formatura e la produzione delle anime.

La terra di fonderia è costituita da una miscela di sabbia silicea e di agglomeranti (detti anche *leganti*) i quali possono essere inorganici oppure organici. Il componente di base della terra di fonderia è la sabbia silicea. Quando vengono prodotti getti in acciaio viene anche utilizzata sabbia di cromo.

Alla terra di fonderia si richiedono le seguenti proprietà:

- plasmabilità, per adattarsi alla forma del modello.
- coesione, per mantenere la forma del modello.
- refrattarietà, per resistere alla temperatura del metallo fuso.
- permeabilità, per consentire l'uscita dei gas durante la colata.

I componenti della terra di fonderia e le modalità della sua preparazione e movimentazione dipendono dal tipo di processo di formatura utilizzato.



In ogni caso per macinare e umidificare la terra con acqua ci si serve di una macchina molazzatrice, la quale è costituita da una grande vasca in ghisa nella quale si trovano gli organi lavoratori, pale montate radialmente su un cilindro rotante e dotate di un rasatore di fondo. Il caricamento (dall'alto) e il riporto della terra macinata (dal basso) avviene tramite nastri trasportatori aperti o sistemi pneumatici.

Abbinata alla molazzatrice vi è una macchina in grado di effettuare il controllo automatico nella preparazione della miscela costitutiva della terra di formatura. La macchina controlla la temperatura e l'umidità in entrata ed in uscita, effettua l'analisi della coesione a verde, valuta il grado di compattazione e regola la quantità di acqua e di additivi da aggiungere alla miscela. Oltre a consentire un controllo migliore della qualità di produzione, la macchina consente anche il miglioramento delle performance ambientali.

La terra viene così trasportata nella zona dove avviene la formatura attraverso dei nastri trasportatori che possono correre per alcuni tratti in posizione sopraelevata e in altri tratti in cunicoli sotto il pavimento.

La terra di fonderia eccedente dai vari impianti di formatura e di “*distaffatura*”, viene recuperata tramite tramogge poste sotto gli impianti stessi ed inviata, a mezzo nastri trasportatori o sistema pneumatico, ad impianto di recupero che può essere composto da varie parti (deferrizzatore, vaglio, trituratore, rigeneratore, ecc...). La terra recuperata ritorna quindi ad essere stoccata in silos o tramogge dalle quali sarà successivamente prelevata per essere rimescolata. L'impianto di deferrizzazione serve per separare eventuali parte ferrose contenute nella terra recuperata dalla distaffatura. È costituito da un tamburo dotato di elettrocalamite sul quale scorre un nastro posto ortogonalmente al di sopra del nastro di trasporto della terra e dal quale estrae i materiali ferrosi in essa contenuti. Essi vengono

attirati magneticamente verso l'alto sul nastro del deferrizzatore e raccolti in un cassone attraverso uno scivolo posto al termine del nastro. I vagli vibranti hanno lo scopo di classificare per grossezza la terra recuperata dalla distaffatura, dopo la deferrizzazione. Essi sono costituiti da due crivelli inclinati sovrapposti ai quali è applicato un movimento a scossa alternativo, in modo che le zolle dure rimangano nel vaglio, mentre la terra più fine prosegue nell'impianto di recupero fino ai silos di stoccaggio. Le zolle dure recuperate dal vaglio vengono smaltite oppure inviate alla macchina trituratrice. Quest'ultima ha lo scopo di sminuzzare le zolle dure della terra di fonderia recuperata dalla distaffatura, dopo la deferrizzazione. Essa è costituita da due cilindri dentati contrapposti e da una doccia oscillante che consente l'avanzamento della terra.

Infine impianti di rigenerazione delle terre recuperate consentono di separare le componenti costituenti la miscela.

Per quanto riguarda la formatura i possibili processi sono quattro: la formatura *a verde*, la formatura *a resina*, la formatura *in anidride carbonica* e la formatura *ad anidride solforosa*. La formatura a verde è utilizzata per la produzione in serie di getti di piccole o medie dimensioni; la forma viene ottenuta costipando la terra nella staffa. Le staffe sono appositi telai in ferro, ghisa o acciaio, che servono per ottenere la forma, introducendo in esse il modello e costipando la terra di fonderia tutta intorno ad esso.

La formatura a verde è detta anche *formatura meccanica*, in quanto viene eseguita tramite apposite macchine formatrici che scuotono e comprimono la terra intorno al modello.

L'operazione di formatura meccanica è eseguita con un impianto automatico nel quale il riempimento della staffa con la terra è completamente automatico e la macchina formatrice è collegata ad un sistema di scorrimento automatico delle staffe che hanno sempre le stesse

dimensioni, indipendentemente dalla dimensione dei getti. In questo tipo di impianti, la macchina formatrice è dotata di sistemi automatici di ribaltamento e chiusura delle staffe; le staffe pronte avanzano in modo automatico fino alla zona dove avverrà la colata e, dopo il raffreddamento, fino alla distaffatura.

La formatura a resina è detta anche *formatura manuale* (Fig.13) perché viene effettuata manualmente ed è prevalentemente utilizzata per la produzione di getti di medie / grandi dimensioni e/o la cui produzione non è in serie. Gli addetti posano il modello dentro la staffa e lo riempiono con la terra di fonderia che è stata preventivamente mescolata con prodotti leganti, quali resina e acido catalizzatore, tramite un apposito miscelatore. La formatura a resina differisce dalla formatura a verde, oltre che per i componenti della terra anche per il fatto che i leganti vengono aggiunti alla sabbia immediatamente prima della formatura in appositi impianti di miscelazione. Il riempimento delle staffe avviene per caduta dall'alto della terra di fonderia, dall'impianto di mescolamento.

Una volta riempita la staffa, gli addetti spianano la terra a mano e talvolta, per rendere più uniforme e consistente la terra costipata intorno al modello, la staffa è posta su piani vibranti; per lo stesso scopo gli addetti utilizzano anche pestelli pneumatici: si tratta di lunghi martelli pneumatici il cui utensile è costituito da un pestello in acciaio che viene posto in rapido movimento alternato. La movimentazione delle staffe è in genere effettuata con carroponte.



Figura 13 – Esempio formatura a resina di un modello di corpo pompa

Il processo di formatura manuale in CO<sub>2</sub> viene utilizzato per la realizzazione di pezzi di grandi dimensioni. Il processo di formatura manuale in CO<sub>2</sub> è analogo, per quanto riguarda le operazioni manuali, a quello della formatura manuale a resina. La differenza consiste nella diversa composizione della terra di fonderia e per il fatto che, in questo caso, l'indurimento avviene per insufflazione di anidride carbonica nella staffa piena di terra di fonderia.

Per quanto riguarda la preparazione delle anime l'addetto alla formatura è chiamato animista ed il reparto "animisteria". L'anima si ottiene costipando la terra in un contenitore di metallo o di legno detto *cassa d'anima*, nel quale sono previsti spazi vuoti in corrispondenza delle suddette parti cave; la cassa d'anima è tenuta chiusa da pistoni pneumatici ed è dotata di estrattori. Ogni cassa d'anima ha al suo interno una sagoma diversa da tutte le altre, a seconda della forma dell'anima che si vuole realizzare, pertanto le casse d'anima sono soggette ad essere inserite e tolte dalle macchine spara anime secondo le esigenze di produzione.

La produzione delle anime può avvenire con diversi procedimenti alternativi: metodo *a resina*, metodo *Ashland*, metodo *Shell-mounting* e metodo *in ceramica*.

Per la produzione delle anime a resina, le tecniche impiegate sono analoghe a quelle impiegati per la produzione delle forme in resina. Per la produzione con metodo *Ashland*, il processo impiegato chiamato *cold box* avviene con la costipazione della terra nella cassa d'anima per mezzo di aria compressa, utilizzando sabbia di fonderia mescolata a resina, che viene fatta reagire con gas che ne provocano l'indurimento. Un altro metodo è quello di *Shell-moulding*, chiamato *hot box*, il quale è un processo a caldo che usa una miscela pronta di granuli di sabbia pre-rivestita di resine termoindurenti. Il prodotto viene soffiato (in gergo "*sparato*") all'interno di una cassa d'anima riscaldata ad una temperatura dell'ordine dei 250 °C. Tramite l'alta temperatura il pre-rivestimento dei granuli si scioglie e i componenti si incollano tra di loro creando così l'anima. La produzione di anime in ceramica invece consiste nel miscelare le materie prime per la produzione della ceramica e nel versare la miscela allo stato liquido in casseforme precedentemente preparate. Le casseforme sono sottoposte a centrifugazione per permettere al liquido di occupare tutti gli spazi interni della cassaforma e successivamente introdotte nel forno di cottura.

Durante questa prima fase vengono applicati dei preparati chiamati distaccanti per modelli, i quali hanno la funzione di favorire il distacco del modello dalla forma. Si tratta in genere di siliconi (polisilossano meno del 5%) sciolti in una miscela di solvente (principalmente eptani 80 - 85%), dall'aspetto di liquido incolore; una volta applicati, i distaccanti formano sui modelli una pellicola trasparente che rende possibile più cicli di formatura senza che vi restino aderenze della terra di fonderia. In genere i modelli in legno necessitano di una applicazione più frequente; la frequenza di applicazione può dipendere anche dalla

geometria del modello stesso. Per quanto riguarda le anime invece vengono applicate delle vernici allo scopo di impedire l'adesione del getto alla forma. Dopo la verniciatura le anime vengono sottoposte a essiccazione tramite cottura in appositi forni. L'eliminazione di ogni residuo di umidità è necessario per non compromettere la qualità del getto.

La fase successiva alla preparazione delle terre, formatura e anime, è quella del ramolaggio. Il ramolaggio è una operazione che consiste nel rifinire le forme, eventualmente pulirle dalla polvere che può essere rimasta su di esse, introdurre le anime quando necessarie, praticare i fori di colata e di fuoriuscita dei gas.

Una volta che due semi- staffe contenenti le rispettive semi- forme sono state preparate come sopra descritto, si provvede ad unire le due parti in modo da costituire il guscio nel quale colare la lega metallica fusa. Per sigillare le due parti talvolta sono impiegati collanti e cordoli bituminosi o argillosi.

Per le operazioni di movimentazione possono essere utilizzati carroponte o paranchi a bandiera. Specie in caso di staffe grandi, la colata può avvenire nello stesso luogo dove è stato effettuato il ramolaggio. Per questo motivo la staffa viene talvolta appoggiata in una zona del pavimento sul quale è stato predisposto un letto di terra di fonderia.

Nella linea di formatura automatica (formatura a verde) solo l'eventuale immissione dell'anima avviene manualmente. L'impianto stesso pratica i fori di colata ed effettua automaticamente la rotazione di una semi- staffa, la sovrapposizione di una semi-staffa sull'altra e l'avanzamento delle staffe fino alla zona dove avverrà la colata.

Una volta finita la fase di ramolaggio, viene effettuata la “*spillata*”, cioè il metallo fuso viene versato dal forno fusorio in contenitori chiamati siviere; si tratta di contenitori metallici di varia grandezza, rivestiti internamente di materiale refrattario, dai quali la lega metallica fusa

viene successivamente versata nelle forme. Quest'ultima operazione viene chiamata colata (Fig.14).



*Figura 14 – Linea di formatura automatica (fase di colata)*

Dopo la colata, le staffe vengono lasciate raffreddare (fino a 200-300 °C), in una apposita zona adiacente all'impianto di distaffatura (Fig.15).



Figura 15 – Raffreddamento pre distaffatura

La distaffatura consiste nell'estrarre la forma dalla staffa e quindi il getto dalla forma tramite specifici impianti. Le staffe provenienti dalla linea di formatura automatica, le quali sono tutte della solita dimensione, vengono fatte avanzare automaticamente su binari dalla zona dove si sono raffreddate fino alla distaffatrice, la quale, in questo caso, è anche chiamata “*pugno*”, essendo essenzialmente costituita da un pistone ad azionamento pneumatico, che scende fino a sfiorare la staffa. I bracci della macchina che sostengono la staffa la sollevano velocemente verso il pugno facendo sì che esso sfondi la staffa. In tale modo la terra di fonderia e il getto cadono su una griglia vibrante che ha la funzione di fare rimanere il getto su di essa, mentre la terra cade al di sotto della griglia stessa dove viene recuperata. I getti che restano sulla griglia vengono inviati alla zona di prelevamento tramite un trasportatore corrugato e talvolta anch'esso grigliato e vibrante, per favorire la rimozione della terra ancora legata al getto.

Per prelevare getti di dimensioni contenute, si utilizza un'asta d'acciaio con la punta



ricurva con cui agganciarli oppure una lunga pinza pneumatica sostenuta da un paranco. La distaffatura di getti di grandi dimensioni, contenuti nelle staffe provenienti dalla formatura manuale, essendo queste di dimensioni diverse tra loro, non può essere effettuata tramite avanzamento su binari fino alla macchina pugno; pertanto, dopo il raffreddamento, le staffe grandi vengono movimentate con l'ausilio di carroponte fino alla distaffatrice, in questo caso costituita da una griglia vibrante di grandi dimensioni, sulla quale viene appoggiata la staffa. La forma contenente il getto viene estratta dalla staffa per effetto delle vibrazioni della griglia stessa. Anche in questo caso, mentre il getto resta sulla griglia, la terra cade sotto di essa provvedendo così al suo recupero. La disterratura dei getti di grande dimensioni, quali quelli provenienti dalla linea di formatura manuale, viene eseguita manualmente dagli addetti i quali utilizzano attrezzi manuali, come martello e scalpello e/o martellini pneumatici. I getti, una volta disterrati, quindi senza più terra legata ad essi, vengono posizionati nelle apposite aree per raffreddarsi ulteriormente (Fig.16).



Figura 16 – Getto di fusione di un corpo pompa dopo la disterratura

La fase successiva è quella della *smaterozzatura* che consiste nell'eliminazione della parte di fusione compresa tra il foro di colata e l'oggetto che si desidera ottenere. La smaterozzatura viene eseguita con diverse modalità: gli operatori possono intervenire con la mazza quando si tratta di più pezzi piccoli uniti a grappolo dalle materozze, o utilizzando mezzi quali troncatrice, sega circolare, cannello ossiacetilenico quando si tratta di getti di media e grande dimensione.

Dopo essere stati privati dalle materozze, i getti vengono puliti e lucidati attraverso le operazioni di *granigliatura* e *sabbiatura*. Le macchine granigliatrici (Fig.17) o sabbiatrici possono essere di diversi tipi a seconda delle dimensioni dei pezzi da trattare. Sono dotate di turbine che sparano ad alta velocità un flusso di graniglia contro i pezzi, ripulendone e lucidandone la superficie.



Figura 17 – Macchina granigliatrice

I getti sono così pronti per essere immagazzinati e poi spediti.

## CAPITOLO 4

### Le Prove Non Distruttive (PND)

Il complesso di esami, prove e rilievi, condotti impiegando metodi che non alterano il materiale e non richiedono la distruzione o l'asportazione di campioni dalla struttura in esame, prendono il nome di Prove Non Distruttive (PND). Queste vengono adottate in contrapposizione alle Prove Distruttive (PD), ovvero a quelle prove che vengono usualmente adottate nei laboratori per determinare, su campioni e provette, le caratteristiche meccaniche, chimiche o metallografiche dei materiali ed a seguito delle quali il pezzo esaminato non è più utilizzabile.

La storia dell'applicazione industriale di questi mezzi d'indagine è piuttosto recente, infatti, per il loro carattere non distruttivo, alcuni di essi sono derivati o conseguenti ad analoghe applicazioni sviluppate in campo diagnostico medicale. Le PND sono condotte su materiali quali i metalli, i compositi, le plastiche, i ceramici, su componenti quali i recipienti a pressione, le turbine, le caldaie, le valvole, le pompe, i motori, i reattori nucleari e dell'industria chimica e petrolchimica, su mezzi di trasporto quali gli aerei, le navi, i treni, le funivie, gli autoveicoli, i razzi e le navicelle spaziali, su installazioni quali piattaforme per la ricerca e l'estrazione del petrolio, i gasdotti, i ponti, i viadotti, le dighe, le fondamenta, le caverne, sui pendii ed i suoli ed infine sulle opere d'arte. Un campo di applicazioni quindi straordinariamente esteso e di estrema importanza per la qualità dei prodotti, per la sicurezza e l'affidabilità degli impianti, delle strutture, dei mezzi di trasporto e per la tutela dell'ambiente, dei beni strumentali e culturali. I tecnici del settore affermano che l'argomento delle Prove non Distruttive non può essere separato da quello del Controllo

della Qualità e che una conoscenza delle prime, puramente tecnologica e completamente distaccata dai concetti e principi che governano il secondo, sarebbe una conoscenza incompleta.

Una visione più ampia della collocazione e del ruolo delle Prove Non Distruttive nel sistema industriale non può quindi prescindere da una descrizione, seppur sintetica, del sistema di Controllo della Qualità. L'espressione Controllo della Qualità indica la funzione di verifica che, un dato prodotto o un dato processo, risponda, in caratteristiche chimico-fisico dimensionali, ai livelli qualitativi prefissati. Si definisce infatti Controllo della Qualità quell'insieme di attività di garanzia della qualità che permettono di rilevare e misurare le caratteristiche di una parte, di un procedimento o di un impianto verificandolo a fronte di parametri e valori preventivamente definiti. Il Controllo della Qualità si attua essenzialmente nelle stazioni di controllo posizionate strategicamente sulla linea di produzione, nella fase di collaudo finale, nella fase di ispezione al ricevimento, nelle fasi di manutenzione programmata degli impianti ed in quelle di ispezioni in esercizio. Va evidenziato che la funzione del Controllo della Qualità non è solo una funzione esecutiva di prove ed esami, ma è anche e soprattutto una gestione dei risultati, un'elaborazione diagnostica degli stessi, un'attività di individuazione di eventuali azioni correttive e di informativa. In altre parole l'insieme degli esiti dei collaudi e la loro interpretazione, permette al Controllo di Qualità di localizzare le fasi di lavorazione ove più frequentemente si originano le cause di scarto ed i motivi che le producono. Ciò induce ad intervenire con le verifiche di qualità sempre più a monte nel processo produttivo, sino all'origine, ossia ai materiali base da lavorare. Tale cammino è fortemente coadiuvato dallo sviluppo dei mezzi di indagine che la tecnica ha messo a disposizione per gli esami non distruttivi dei materiali e dei prodotti di lavorazione.

In questa ottica, meglio si comprende quali effettivamente sono la collocazione e il ruolo del Controllo della Qualità nell'ambito del sistema industriale e, in un tale sistema, qual è il ruolo delle Prove Non Distruttive, che del Controllo della Qualità rappresentano uno dei principali mezzi, o per meglio dire uno dei principali settori operativi.

Nella costituzione di un servizio PND ci sono dei fattori che devono essere presi in considerazione. In primo luogo devono essere definiti gli obiettivi che si vogliono raggiungere sul prodotto, data appunto l'introduzione delle PND; in secondo luogo devono essere individuati i mezzi effettivamente necessari per raggiungere tali obiettivi. L'attività delle PND devono essere utilizzate al meglio sia come strutture e punti di intervento, sia come dati informativi ottenibili per raggiungere il miglioramento del processo produttivo e la riduzione degli scarti.

Infine, devono essere valutati i fattori economici. La spesa per la costituzione di un servizio PND comprende i costi legati alla gestione dei servizi, quali: costi diretti (apparecchiature, ammortamenti, materiali di consumo, personale, utenze e installazioni, manutenzioni, etc.), costi indiretti (aggiornamenti tecnico culturali, interventi assicurativi, legali e di fisica sanitaria, quote spese generali della società, etc.), e costi derivanti (onere degli scarti, rallentamenti o varianti al percorso della linea produttiva, etc.). Inoltre spese da preventivare sono quelle per gli ammodernamenti tecnologici del sistema con interventi migliorativi.

A fronte della spesa che si andrà a sostenere, si avranno dei benefici considerevoli sia di tipo diretto, come riduzione degli scarti di produzione, riduzione dei reclami da parte degli utilizzatori, riduzione di tempi di lavorazione per introduzione di sistemi più idonei e di materiali più consoni a seguito delle diagnosi elaborate dal servizio PND, e di tipo indiretto, come miglioramento dell'immagine della società sul mercato, riflessi indotti sulla

professionalità degli addetti alle lavorazioni, diminuzione dei rischi civili e dei premi assicurativi, riduzione dei rischi socio-ecologici.

Tra i benefici seguenti alla costituzione di un servizio PND si possono evidenziare alcuni aspetti legislativi legati ai contenziosi tra produttori e utilizzatori, che possono derivare per danni provocati dai prodotti e/o dai loro componenti difettosi, normati da direttive della Comunità Europea e nello specifico dalle direttive 85/374 CE e SCM 99/33 CE.

Esiste un notevole numero di tecniche di indagine non distruttiva, nate dall'esigenza di rilevare un'altrettanta notevole varietà di difetti in pezzi differenti, sia nelle forme sia nei tipi di materiali. In base al loro campo di applicabilità le PND possono essere raggruppate in tre classi:

- Superficiali: idonee a esaminare i materiali a livello superficiale;
- Volumetriche: idonee a rilevare discontinuità all'interno dei materiali;
- Globali: idonee a verificare lo stato di un componente nella sua globalità.

I metodi più diffusi sono essenzialmente: visivo, liquidi penetranti, magnetoscopia, radiografia e ultrasuoni.

Il metodo visivo ha assunto particolare importanza in quanto negli ultimi anni la tecnologia ha messo a disposizione potenti strumenti in grado di analizzare superfici remote e/o ingrandite opportunamente. I metodi liquidi penetranti e magnetoscopia, detti anche di superficie, costituiscono un ausilio all'esame visivo, in quanto servono ad evidenziare difetti superficiali che poi vengono per lo più valutati con l'esame visivo diretto. La magnetoscopia è in grado di rilevare anche difetti poco sotto la superficie ma si tratta di eventualità assai rare. I metodi ultrasuoni e radiografia, detti anche di volume, vengono impiegati per lo più in reciproca alternativa, a seconda dei materiali, dei prodotti e delle condizioni operative.

## 1. L'esame visivo

L'esame visivo è il metodo di indagine non distruttivo più importante. Fondamentale è l'azione dell'operatore che deve essere in grado di registrare e interpretare tutti i risultati di questo metodo di indagine, sia con l'ispezione degli oggetti ad occhio nudo, sia con l'aiuto di lenti od endoscopi a basso ingrandimento. Come in tutti i metodi di superficie è evidente l'importanza della pulizia della superficie da esaminare, così come la sua illuminazione.

Il principio infatti si basa sull'impiego della luce come mezzo rivelatore dei difetti. Analizzando la direzione, l'ampiezza e la fase della luce riflessa o diffusa dalla superficie di un oggetto opaco, o trasmessa all'interno di un mezzo trasparente, si possono ottenere informazioni sullo stato fisico dell'oggetto in esame. Sebbene sia il metodo più naturale, richiede una discreta predisposizione all'osservazione ed una notevole esperienza, affinché possa rivelare all'operatore tutti i difetti, specie quelli più gravi, nonché tutte le informazioni utili, potenzialmente disponibili. Anche il solo esame ad occhio nudo è molto più complesso di quanto non si creda e richiede una buona conoscenza dell'ottica e dell'illuminazione.

Gli esami visivi, come anche suggerito dalla norma di riferimento UNI EN 13018, vengono generalmente suddivisi in:

- Esami visivi diretti: possono essere utilizzati quando sia possibile accedere con gli occhi ad una distanza dalla superficie in esame non maggiore di circa 60 cm con una angolazione non inferiore a 30°.
- Esami visivi remotizzati: vengono generalmente utilizzati quando non sia possibile accedere direttamente all'oggetto od alla superficie in esame. Allo scopo vengono utilizzate apparecchiature più o meno sofisticate, quali ad esempio specchi, telescopi, endoscopi, fibre ottiche, telecamere, ecc. In ogni caso, qualunque sia il

mezzo utilizzato, gli strumenti debbono avere una risoluzione almeno equivalente a quella dell'occhio umano.

Per la corretta applicazione di questo metodo di esame non distruttivo, risulta essenziale l'esatta conoscenza delle anomalie o del tipo di difetto che si intende rilevare. Il vantaggio di questo metodo, nell'applicazione remotizzata, è che permette un controllo visivo a distanza senza smontare particolari da controllare. Gli svantaggi sono essenzialmente: l'impossibilità di utilizzo senza un accesso diretto alla zona d'esame (è necessario avere un foro d'accesso) e la soggettività del metodo dipendente dal parere dell'operatore e dalla sua esperienza.

## **2. I liquidi penetranti**

L'ispezione mediante liquidi penetranti (PT) è uno dei metodi non distruttivi più utilizzati per rilevare discontinuità e cricche di vario genere, grazie alla sua facilità di impiego, alla sua flessibilità e alla sua applicabilità a qualsiasi tipo di materiale non poroso metallico o non metallico (vetro, gomma, plastica, ceramica, acciaio, alluminio, titanio, ecc.). Esso consiste nello stendere sulla superficie in esame uno speciale mezzo liquido (di solito oleoso e di colore variabile e/o fluorescente), dotato di bassa tensione superficiale, buona bagnabilità e particolari proprietà fisiche che ne consentono la penetrazione per capillarità all'interno delle discontinuità.

La Norma di riferimento per la tecnica di Controllo non Distruttivo con liquidi penetranti è la UNI EN 571-1; essa prevede che la procedura di controllo venga effettuata nelle seguenti sette fasi:

1. Preparazione della superficie da esaminare;
2. Applicazione del liquido penetrante;



3. Rimozione del penetrante, ricorrendo, se necessario, all'applicazione di un emulsificatore;
4. Asciugatura della superficie;
5. Applicazione del rilevatore;
6. Ispezione;
7. Pulizia finale.

La preparazione della superficie è uno dei passi più critici, in quanto deve eliminare completamente qualunque traccia di acqua, olio, grassi o altre sostanze che possono impedire o limitare l'accesso del liquido penetrante all'interno dei difetti. Quindi viene steso sulla superficie in esame il liquido speciale. La Norma prevede che il tempo di penetrazione del liquido deve essere compreso tra i 5 e 60 minuti, in dipendenza della caratteristica specifica del prodotto impiegato e variabile in funzione del tipo di applicazione che si effettua. Il liquido eccedente viene rimosso mediante un lavaggio con acqua corrente fredda avente tensione superficiale più elevata e una bagnabilità peggiore rispetto al liquido penetrante per cui non lo rimuove dalle fessure nelle quali è penetrato. Successivamente viene applicato su tutta la superficie da esaminare uno speciale materiale assorbente, detto rilevatore, che riporta in superficie il liquido introdottosi nella discontinuità in modo da lasciare un segnale di dimensioni maggiori del difetto che lo ha generato e fornire così una indicazione visibile dello stesso. L'ispezione per l'operatore è più agevole rispetto alla semplice ispezione visiva. Le indicazioni fornite hanno dimensioni significativamente maggiori perché sono rese visibili anche piccole cricche, aventi dimensioni al di sotto della soglia di risoluzione dell'occhio umano. I vantaggi maggiori di questa tecnica sono l'alta sensibilità alle piccole discontinuità superficiali, il basso costo, la facile esecuzione ed interpretazione; per contro

si ha che possono essere rilevati solo difetti superficiali per cui occorre una preparazione accurata della superficie da testare, il tempo richiesto è elevato e la qualità della prova dipende dall'esperienza dell'operatore.

### **3. La Magnetoscopia**

Il metodo magnetoscopico (MT) rimedia alla più grave limitazione dei liquidi penetranti, ovvero alla difficoltà di preparare le superfici in modo da garantire che le discontinuità non siano chiuse da sporcizia, vernici o altro. Questa è appunto una caratteristica che rende il metodo PT inaffidabile nei controlli di servizio. Nell'esame MT infatti la pulizia iniziale dei pezzi è meno critica. I pezzi possono anche rimanere verniciati, purché la vernice sia uniforme, non molto spessa e che non impedisca il normale fluire delle polveri.

D'altro canto però il metodo MT ha la grave limitazione di essere applicabile solo a materiali ferromagnetici, questo porta ad escludere così tutti i metalli non ferrosi ed anche una parte dei ferrosi (acciai austenitici).

Il principio di funzionamento di questo metodo si basa sul fatto che un materiale magnetizzato è sede di "flusso disperso" quando una discontinuità superficiale interrompe la continuità metallica e quindi costringe parte del flusso magnetico a chiudersi in aria. Quindi la rilevazione dei difetti viene fatta grazie all'intercettazione dei corrispondenti campi magnetici dispersi. Il procedimento più diffuso per ottenere la rilevazione è quello delle polveri magnetiche.

Se la magnetizzazione ha una direzione favorevole, il flusso disperso fa sì che i lembi della discontinuità si comportino come i poli di una calamita, e quindi attraggono e trattengono la polvere magnetica con cui l'operatore cosparge il pezzo durante la magnetizzazione. Per assicurare che almeno una componente del flusso sia perpendicolare ai bordi della

discontinuità non nota è necessario magnetizzare in almeno due direzioni all'incirca ortogonali.

La norma di riferimento per un corretto svolgimento dell'esame magnetoscopico è la UNI EN ISO 9934-1 e richiede le seguenti fasi operative:

1. Preparazione dei pezzi
2. Magnetizzazione
3. Irrorazione del rivelatore
4. Smagnetizzazione

La preparazione dei pezzi consiste essenzialmente nel preparare la superficie ripulendola da depositi o tracce di grassi, oli e sostanze contaminanti in genere. La pulizia è necessaria per evitare che il grasso o lo sporco trattenga del rivelatore per aderenza, causando delle tracce di disturbo, ovvero non corrispondenti a difetti reali. Si passa poi alla fase successiva che è fondamentale dell'intero esame e deve essere eseguita con accortezza, cioè la magnetizzazione. Le tecniche di magnetizzazione più comunemente utilizzate sono la magnetizzazione basata sul passaggio di corrente nel pezzo stesso e la magnetizzazione attraverso l'immersione del pezzo in un campo magnetico.

Bisogna fare una distinzione tra due possibili tecniche di analisi. Il metodo continuo, ove, per l'individuazione del difetto, si sfrutta il campo magnetico imposto dall'esterno; in tal caso il rivelatore è irrorato prima e durante l'applicazione della magnetizzazione, l'irrorazione deve però cessare un attimo prima che cessi la magnetizzazione, in modo da evitare che per l'azione meccanica del getto parte dell'indicazione venga cancellata. In tal modo l'entità dell'indicazione ottenuta è la massima possibile, essendo stata prodotta mentre era massima l'azione attrattiva del campo disperso. Il metodo residuo, ove, per

l'individuazione del difetto, si sfrutta il magnetismo residuo del pezzo; in tal caso il rivelatore è irrorato solo dopo che è cessata la magnetizzazione. Le indicazioni così ottenute sono meno marcate a causa del più debole campo magnetico disperso. Il metodo continuo è quello di gran lunga più usato, essendo più sensibile, tuttavia in certi casi il metodo residuo è preferito per evitare di rilevare difetti irrilevanti in pezzi grezzi. Infine è necessaria, per eliminare l'eventuale magnetismo residuo dai pezzi, effettuare la smagnetizzazione. Essa avviene generalmente per passaggio dei pezzi attraverso un tunnel di smagnetizzazione dove essi subiscono una sequenza di cicli di isteresi magnetica simmetrici decrescenti. Per pezzi di grandi dimensioni, od in casi speciali, la smagnetizzazione può essere fatta con passaggio diretto di corrente a cicli decrescenti.

In conclusione l'esame MT richiede maggiori costi di apparecchiature e preparazione maggiormente qualificata degli operatori rispetto all'esame PT.

#### **4. La Radiografia**

La radiografia (RT) è il più antico, conosciuto e diffuso metodo tra i controlli non distruttivi. Esso si basa sull'utilizzo delle radiazioni elettromagnetiche penetranti, raggi X e  $\gamma$ , che attraversando determinati spessori di materiale, in presenza di volumi meno densi ed in proporzione allo spessore attraversato, vengono attenuate e impressionano maggiormente la lastra, posta dal lato opposto della sorgente e a contatto dello spessore.

Dall'immagine ottenuta si possono ricavare innumerevoli informazioni: individuazione di difetti interni; variazioni della struttura reticolare del materiale, causato da stress interno o presenza di impurità; discontinuità del materiale più denso in alcune zone e più espanso in altre. Questo sistema di indagine è applicato per il controllo di pezzi per prevenire rotture e per il controllo di qualità di tipo macroscopico (presenza di incrinature, cavità etc.) o

reticolare (presenza di impurità, omogeneità del materiale, etc.) e può essere utilizzato anche per materiali non metallici. Le immagini bidimensionali che si ottengono, in genere, non forniscono informazioni sulla profondità del difetto, esse si possono avere, però, effettuando radiografie su più lati dell'oggetto o con esame agli ultrasuoni.

L'utilizzo di questo metodo si presta a svariate applicazioni ma comporta una serie di precauzioni operative volta a tutelare la salute degli operatori dalle radiazioni emesse, infatti per legge è obbligatorio operare i test in adatti locali di irraggiamento (bunker), opportunamente protetti con schermature di piombo o con pareti di cemento armato, e dotati di opportuni allarmi che impediscano agli operatori di dare il via all'emissione di raggi X, finché le porte d'accesso al bunker non siano state chiuse e le dovute protezioni inserite.

Tutte le disposizioni a riguardo sono riportate nella Norma di riferimento per questo tipo di controllo, la UNI EN 444, dove è esplicitamente contenuta la seguente avvertenza: "L'esposizione del corpo umano o di sue parti ai raggi X o  $\gamma$  può essere gravemente nociva per la salute. Ovunque siano in uso apparecchiature a raggi X o sorgenti radioattive devono essere applicate le disposizioni legislative vigenti". La scelta tra l'utilizzo di raggi X o raggi  $\gamma$  (che hanno un maggiore potere di penetrazione) dipende dallo scopo dell'indagine e dal tipo di materiale da testare. I raggi X anche più potenti non superano spessori d'acciaio superiori a circa 70 mm, mentre i raggi  $\gamma$ , anche nei casi migliori, non superano i 180 mm. Il sistema PnD radiografico è spesso utilizzato dopo l'esecuzione di test con altri metodi di indagine per avere degli esami più approfonditi e precisi. In conclusione il sistema di indagine radiografico è una tecnica che permette la ricerca di difetti interni ed esterni ai materiali ed è applicabile su tutti i materiali (ghisa, acciai, alluminio e leghe leggere, materiali compositi, ceramiche, plastiche, ecc.). Un grosso vantaggio di questo metodo è che

non richiede procedure complesse di calibratura o comparazione con campioni di confronto invece le limitazioni sono legate allo spessore massimo e alla complessità geometrica dei pezzi da esaminare, alla forma e giacitura dei difetti e soprattutto all'elevato costo delle attrezzature e della loro manutenzione.

## 5. Gli Ultrasuoni

Il metodo degli ultrasuoni (UT) si basa sulla proprietà che questi hanno di propagarsi nei materiali e di essere riflessi da superfici di separazione tra materiali di diversa natura, ovvero di diversa densità. L'apparecchio utilizzato è una sonda o trasduttore che genera ultrasuoni, cioè onde costituite da vibrazioni elastiche di particelle di materia che possono quindi avvenire in un mezzo solido, liquido, o gassoso. Poiché gli ultrasuoni sono vibrazioni meccaniche del tutto innocue per le persone, questa tecnica si distingue dalla radiografia ma richiede in genere personale più abile ed addestrato poiché i parametri di prova sono più numerosi e complessi e i risultati dell'esame, che non sono documentabili come nel caso della radiografia comportano molte più responsabilità per l'operatore.

Come per tutti i fenomeni ondulatori, anche gli ultrasuoni sono caratterizzati da parametri fisici quali: la frequenza, la lunghezza d'onda, la velocità di propagazione, l'intensità, ecc. Inoltre nella loro propagazione, analogamente alle onde luminose, subiscono i noti fenomeni della riflessione, rifrazione e diffrazione, quando incontrano discontinuità od ostacoli. In generale, quando un'onda attraversa la superficie di separazione fra due mezzi, la direzione di propagazione subisce una variazione: questo fenomeno si definisce rifrazione, ed è dovuto al fatto che la velocità di propagazione dipende dal mezzo in cui essa avviene. La riflessione si ha ogni volta che un'onda incide sulla superficie di separazione tra due mezzi, separandosi in due componenti: una prosegue nel secondo mezzo, subendo rifrazione, l'altra viene

riflessa all'interno del primo mezzo. Inoltre tutte le onde (a parte quelle monodimensionali, proprie di una corda), se passano attraverso piccole aperture o incontrano un ostacolo sul loro cammino, deviano dalla direzione di propagazione rettilinea, e si sparpagliano in direzioni diverse. Questo fenomeno, detto diffrazione, diventa particolarmente intenso quando l'apertura, attraverso cui l'onda s'insinua, è piccola rispetto alla sua lunghezza d'onda. La Norma di riferimento, la UNI EN 583-1, prevede che si utilizzino ultrasuoni longitudinali o trasversali, di frequenza tipicamente compresa tra 1 e 10 MHz; negli ultimi tempi, in un contesto applicativo più ampio, il range si è esteso a 20 kHz-200 MHz.

I parametri che influenzano il controllo sono prima di tutto la “trasparenza” ossia la natura della struttura del materiale che viene esaminato, il quale deve essere tale da trasmettere la trasmissione degli ultrasuoni e in base a tale parametro vengono utilizzati ultrasuoni a bassa frequenza con maggiore o minore lunghezza d'onda. Altro parametro è la superficie del pezzo di prova che deve consentire alla sonda di scorrere agevolmente sull'oggetto da esaminare. Per facilitare questa operazione vengono utilizzati gel, lubrificanti o tecniche di immersione in uno strato liquido. La posizione e l'orientamento dei difetti determinano l'utilizzo delle varie sonde piane, angolate, doppie o reversibili e se ricorrere o meno agli esami in immersione. Ulteriore parametro riguarda le dimensioni del pezzo da esaminare. A differenza dell'esame radiografico che può individuare un difetto su uno spessore di pochi millimetri, l'esame ultrasonico su materiale trasparente rileva un difetto anche di alcuni metri di profondità. La risposta in un controllo UT è un eco che da una posizione sullo schermo mi indica la distanza del difetto dalla sonda e quindi la profondità nel pezzo, ma per conoscerne la dimensione si deve utilizzare un altro parametro, cioè il confronto con i campioni di taratura, cioè con i blocchi campione.

La generazione di un fascio di ultrasuoni la si ottiene per mezzo di trasduttori, ossia dispositivi capaci di trasformare energia da una forma in un'altra. Nel caso degli ultrasuoni sono utilizzati trasduttori che trasformano energia elettrica in energia meccanica e viceversa, sfruttando gli effetti: piezoelettrico, elettrostrittivo, magnetostrittivo ed elettromagnetico.

I trasduttori trasmettono all'interno del componente in esame una serie di "impulsi ultrasonori" i quali, una volta attraversato il materiale e raggiunto il fondo, vengono riflessi e ricevuti da un'adeguata strumentazione che li elabora opportunamente. A seconda della geometria e del tipo di materiale in esame, possono essere impiegate differenti tecniche operative: alcune prevedono l'utilizzo di sonde che fungono contemporaneamente da trasmettitori e ricevitori degli ultrasuoni (tecnica in Riflessione), altre invece utilizzano due trasduttori diversi, uno per l'emissione e l'altro per la ricezione (tecnica in Trasparenza). In ogni caso il fascio ultrasonoro, così come esce dal trasduttore è caratterizzato dalla sua forma geometrica (dimensioni e campo). Il segnale ultrasonoro in ricezione (riflesso o trasmesso) è invece caratterizzato da due parametri fondamentali e precisamente l'ampiezza (valore di picco dell'impulso elettronico mostrato sullo schermo dello strumento in una particolare rappresentazione denominata A-scan) ed il tempo di volo (tempo intercorso tra l'impulso di trasmissione e quello di ricezione, indicato dalla distanza tra i due impulsi mostrati sullo schermo) che fornisce la misura indiretta del percorso effettuato dall'onda ultrasonora nel mezzo. In altre parole il segnale di partenza degli ultrasuoni (chiamato "eco di partenza") e quello riflesso dalla superficie opposta a quella d'entrata (chiamato "eco di fondo"), vengono visualizzati sullo schermo dello strumento con dei picchi, la cui distanza risulta proporzionale al tempo che gli ultrasuoni impiegano per percorrere il viaggio di andata e di ritorno dalla sonda alla superficie riflettente presente all'interno del materiale. Se durante



tale percorso il fascio ultrasonoro incontra delle discontinuità esse fungono da riflettori, e sullo schermo, tra i due precedenti picchi (eco di partenza ed eco di fondo), ne compariranno degli altri che rappresentano delle indicazioni relative al tipo di discontinuità incontrate.

I campi di applicazione sono i più svariati, essendo il metodo applicabile anche a materiali non metallici. I vantaggi sono diversi, tra i quali l'elevata sensibilità, che permette di rilevare anche difetti molto piccoli, il buon potere di penetrazione, che consente di individuare anche difetti interni e l'accurata determinazione della posizione e dell'entità delle imperfezioni. Inoltre il tempo di risposta risulta essere veloce. Di contro, il metodo di indagine ad ultrasuoni può presentare delle difficoltà interpretative specialmente se l'oggetto esaminato presenta geometrie complesse, ci si affida in tal caso a trattamenti del segnale più sofisticati e all'esperienza dell'operatore.

Tutto il personale impiegato nell'esecuzione dei Controlli Non Distruttivi dovrà essere opportunamente addestrato e certificato in accordo alla SNT-TC-1A (Recommended Practice).

## CAPITOLO 5

### Classificazione dei difetti e analisi dati

Nel seguente capitolo verrà svolta un'analisi delle non conformità riscontrate nei getti di fusione, durante i controlli di qualità effettuati nel corso degli anni, al fine di evidenziare e individuare quanto risulta efficace il controllo in accettazione che attualmente viene adottato dall'azienda principalmente di tipo visivo in accordo allo standard ANSI/MSS SP-55-2011. I vari difetti riscontrati nei getti di fusione approvvigionati e registrati su base storica sono stati classificati in accordo alla suddetta norma al fine di individuare elementi causali sui principali tipi di difettosità presenti ed analizzare le eventuali correlazioni. Rispetto allo standard ANSI/MSS SP-55 al fine di ottenere dei dati più puntuali, è stato necessario suddividere in "sotto-classificazioni" alcune categorie del difetto riscontrato. Seguirà un'analisi statistica e una serie di soluzioni e spunti di miglioramento che serviranno all'azienda come base per un migliore sistema di gestione della qualità.

#### **1. Identificazione e classificazione dei difetti nei getti di fusione**

Prima di intervenire nell'eliminazione dei possibili difetti dai getti di fusione, ove possibile, o scartare questi in quanto non idonei, si deve risolvere il problema della corretta classificazione ed identificazione dei difetti stessi. Le prime preziose informazioni si possono ricavare dall'esame superficiale del getto. Ad esempio sulle estremità superiore di un getto, che raffredda all'aria, è possibile osservare delle anomalie che indicano la non corretta esecuzione del processo di realizzazione del pezzo: una lieve depressione con superficie liscia indica esenzione da porosità da ritiro; trasudamenti di gocce, lisce, dure, bianco-argenteo o gialle sono un segnale certo di porosità del getto, anche se manca il

profondo ritiro; larghe aree depresse, spesso con la struttura cristallina evidenziata da piccole cricche intercrystalline, indicano seria porosità locale nel getto, causata dall'instaurarsi di zone calde.

Le notizie ricavabili dall'esame della superficie possono poi essere integrate, come abbiamo visto nel capitolo 4, da altri specifici esami per andare ad identificare in modo più preciso la causa scatenante del difetto.

Le conclusioni a cui si potrà giungere dopo tutte queste indagini saranno così molto ben fondate e si potrà procedere alle contromisure, agendo nella direzione più efficace.

Una classificazione dei possibili difetti riscontrabili nei getti di fusione è stata fatta tenendo conto della causa più importante che li determina, senza trascurare comunque le altre cause possibili o cospiranti:

- 1) Difetti attribuibili ad imprecisioni od errori nella preparazione delle forme:
  - Spostamenti
  - Cedimenti
  - Rigonfiamenti
  - Variazioni di spessore di parete
- 2) Difetti attribuibili a insufficienze qualitative o di elaborazione, delle sabbie e delle anime:
  - Escrescenze
  - Infiltrazioni
  - Erosioni della sabbia
  - Inclusioni di sabbia

- 3) Difetti attribuibili a carenze del dispositivo di colata e/o a temperatura di colata inadeguate:
- Mancanze
  - Riprese e gocce fredde
  - Risucchi
  - Microrisucchi
  - Cricche di ritiro
- 4) Difetti attribuibili a gas nel getto:
- Occlusioni isolate (soffiature)
  - Occlusioni diffuse
  - Occlusioni localizzate
  - Trasudamenti
- 5) Difetti attribuibili a pratiche scadenti di fusione o di colata:
- Inclusioni solide
  - Struttura aperta

## **2. Standard Practice MSS SP-55-2011**

La *Pratica Standard ANSI/MSS SP-55-2011* è la norma utilizzata dalla Pompe Garbarino S.p.A. per il controllo di qualità dei getti di fusione in quanto consente con costi relativamente contenuti di attuare una selezione nei componenti approvvigionati concentrando l'attività del controllo alla caratteristica "stato superficiale" individuata nel corso dei rilievi visivi.

Lo standard *MSS SP-55*, "*Quality Standard for Steel Castings for Valves, Flanges, Fittings, and Other Piping Components - Visual Method for Evaluation of Surface Irregularities*",

adottato originariamente nel 1961, ha proprio lo scopo di fornire alle aziende un mezzo uniforme e standardizzato, utile per identificare potenziali difettosità a partire dalle varie irregolarità superficiali eventualmente presenti nei getti di fusione. Tutte le definizioni terminologiche che seguiranno vengono applicate quindi solo alle irregolarità superficiali e non ai difetti interni; questi ultimi possono essere riscontrati esclusivamente utilizzando tecniche PND che risultano impegnative, sia in termini di costi delle risorse necessarie (attrezzature e personale), che nei tempi di realizzazione.

Il formato della *MSS SP-55*, allineata nel 1996 per essere coerente con le altre *Pratiche MSS*, rivista nel 2006, è stata aggiornata nel 2011 con l'apporto di alcuni miglioramenti e ulteriori precisazioni.

La *norma* presenta una serie di 60 fotografie di riferimento che illustrano le diverse irregolarità della superficie dei getti di fusione. In questo modo è possibile fare un confronto visivo di una superficie di un getto reale con le fotografie di riferimento, allo scopo di stabilire quali irregolarità possono essere considerate accettabili e/o non accettabili.

Nella norma sono elencati dodici tipi generali di irregolarità superficiali con cinque esempi per ciascun tipo. I due esempi mostrati a sinistra illustrano livelli accettabili di quel particolare tipo di irregolarità. I tre esempi a destra illustrano livelli non accettabili. La norma è stata concepita per un uso generale per qualsiasi area di 4 pollici x 5 pollici (100 mm x 125 mm). I tipi di irregolarità superficiali illustrati nelle fotografie di riferimento sono i seguenti:

- TIPO I – Strappi o crepe a caldo: discontinuità superficiali lineari o fratture causate da sollecitazioni interne o esterne o da una combinazione di entrambe che agiscono sul getto. Possono verificarsi durante o dopo la solidificazione. In generale, non sono accettabili cricche superficiali visibili o lacerazioni a caldo, o entrambe.

- TIPO II – Ritiro: vuoto lasciato nel metallo fuso a seguito del ritiro di solidificazione e del progressivo congelamento del metallo, che viene esposto al momento del taglio di alzate e porte.
- TIPO III – Inclusioni di sabbia: sabbia che rimane intrappolata nel metallo fuso e si manifesta sulla superficie della colata.
- TIPO IV – Porosità da gas: vuoti nel metallo fuso causati dall'intrappolamento di gas durante la solidificazione.
- TIPO V – Venatura: caratteristiche sulla superficie dei getti che appaiono come una cresta e sono associate al movimento o alla fessurazione della sabbia.
- TIPO VI – Coda di topo: caratteristiche sulla superficie dei getti che appaiono come una depressione derivante da una faglia o da una deformazione delle superfici dello stampo.
- TIPO VII – Rughe, lacune, pieghe e riprese a freddo: irregolarità superficiali causate da una fusione incompleta o dalla piegatura delle superfici metalliche fuse.
- TIPO VIII – Segni di taglio: irregolarità nelle superfici dei getti derivanti da bruciature o da mezzi meccanici utilizzati per la pulizia dei getti.
- TIPO IX – Croste: imperfezioni superficiali leggermente rialzate che di solito sono ricoperte da un sottile strato poroso di metallo.
- TIPO X – Cappelletti: evidenza di cappelletti sulla superficie del getto che rivelano una fusione incompleta, che può essere applicata anche ai getti interni.
- TIPO XI – Aree di riparazione delle saldature: evidenza di una preparazione impropria della superficie dopo saldatura.

- TIPO XII – Rugosità superficiale: struttura della superficie dovuta al design, al modello, alla gettata e alle condizioni della sabbia.

### 3. Studio e analisi dei dati

La seguente tabella mostra l'elenco dei difetti così come classificati nella *Pratica Standard* a cui è stata aggiunta, come precedentemente indicato, una sotto-classificazione, in modo da rendere più specifico e puntuale il tipo di difetto rappresentato.

Rispetto alla classificazione originaria della norma standard sono state inoltre aggiunte altre tre sezioni denominate “A”, “B” e “C” utili per il proseguo dell'analisi.

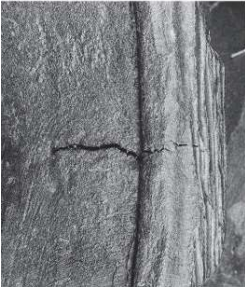

La sezione della tabella denominata “*visualizzazione del difetto*” mostra per ogni potenziale tipo di difetto un'immagine rappresentativa.


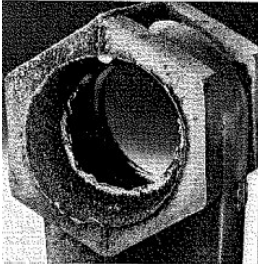

In base alla letteratura ma anche alle interviste e alle informazioni ricavate durante la visita nell'azienda di modelleria e di fonderia, sono state infine realizzate le ultime due sezioni della tabella. Per ogni sotto-classificazione del “*tipo*” di difetto sono state elencate le probabili cause primarie che possono aver scatenato il difetto e i possibili rimedi e/o soluzioni che la fonderia e/o la modelleria possono attuare.

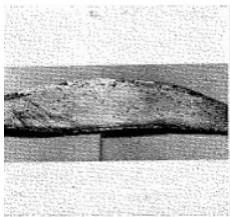
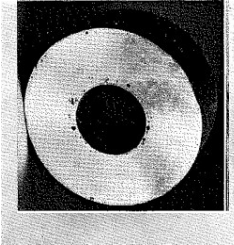
Di seguito la tabella:







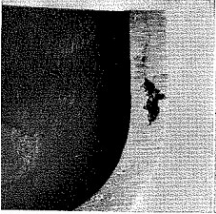



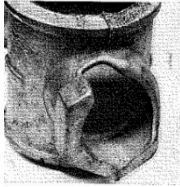

PRATICA STANDARD ANSI/MSS SP-55-2011  (DESIGNAZIONE DEL DIFETTO)	MORFOLOGIA DEL DIFETTO	SOTTOCLASSIFICAZIONE DEL DIFETTO		VISUALIZZAZIONE DEL DIFETTO	PROBABILI CAUSE	POSSIBILI RIMEDI E/O SOLUZIONI	
						FONDERIA	MODELLISTA
TIPO I (Strappi e crepe a caldo)	Discontinuità superficiali lineari o fratture causate da sollecitazioni interne o esterne o da una combinazione di entrambe che agiscono sul getto. Possono verificarsi durante o dopo la solidificazione. In generale, non sono accettabili cricche superficiali visibili o lacerazioni a caldo, o entrambe.	Non prevista.			1) Anime troppo rigide. 2) Estrazione del getto ancora fragile.	1) Provvedere ad anime più cedevoli. 2) Aumentare i tempi di raffreddamento.	
TIPO II (Ritiro)	Vuoto lasciato nel metallo fuso a seguito del ritiro di solidificazione e del progressivo congelamento del metallo, che viene esposto al momento del taglio di alzate e porte.	Cricche di ritiro	Il getto presenta in uno o più punti cricche intercristalline, visibili all'esterno, talvolta passanti, con i corpi della frattura strappati.		1) Dispositivo di colata errato. 2) Anime troppo rigide. 3) Getto mal studiato.. 4) Estrazione del getto ancora fragile.	1) Provvedere ad anime più cedevoli. 2) Aumentare i tempi di raffreddamento. Se assolutamente necessario far scorrere il metallo dalle zone più sottile alle più spesse.	1) Rivedere il sistema di alimentazione e materozzaggio. 2) Verificare eventuale usura parti e spigoli. Smussare gli spigoli, eliminare le brusche variazioni di spessore.

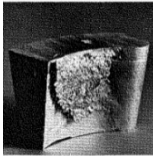
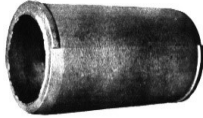
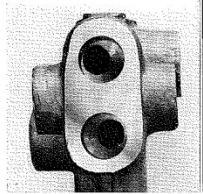
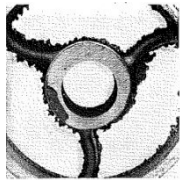

<p>TIPO III (Inclusioni di sabbia)</p>	<p>Sabbia che rimane intrappolata nel metallo fuso e si manifesta sulla superficie della colata.</p>	<p>Inclusioni di sabbia</p>	<p>Punto scabroso in una zona del getto a pareti sottili. La parete risulta un po' più spessa del disegno: l'area porosa occlude sabbia.</p>		<p>1) Miscela con troppa argilla . 2) Costipatura troppo forte. 3) Verniciatura anime inadeguata.</p>	<p>1) Riducendo l'argilla si permettono le contrazioni del getto. 2) Costipando più leggermente si dà la possibilità alla sabbia di espandersi senza sgretolarsi sotto l'azione del metallo fuso. 3) Provvedere ad una verniciatura adeguata delle anime.</p>	
		<p>Infiltrazioni</p>	<p>Si possono avere infiltrazioni nella sabbia e/o nell'anima. Il getto presenta superfici esterne e/o interne scabrose, come se il metallo fosse penetrato tra i grani della sabbia: alcuni grani rimangono inglobati nel getto.</p>		<p>1) Sabbia o miscela d'anima non adatta. 2) Verniciatura anime inadeguata. 3) Metallo troppo fluido. 4) Temperatura di colata troppo alta.</p>	<p>1) Evitare sabbie troppo grossolane, troppo secche, troppo permeabili. 2) Provvedere ad una verniciatura adeguata delle anime (bronzi ad alto tenore di piombo necessitano particolare attenzione). 3) Ridurre la temperatura per ridurre la fluidità.</p>	
<p>TIPO IV (Porosità da gas)</p>	<p>Vuoti nel metallo fuso causati dall'intrappolamento di gas durante la solidificazione.</p>	<p>Occlusioni isolate (soffiature)</p>	<p>Il fenomeno può verificarsi sia verso l'esterno che verso l'interno ( dove ci sia una cavità animata). La superficie si presenta depressa e, subito sotto c'è una sacca di gas, anche di notevoli dimensioni, a pareti interni lisce.</p>		<p>Imprigionamento di aria o gas per: 1) Tirate d'aria insufficienti. 2) Sabbie o anime inadatte.</p>	<p>L'imprigionamento dell'aria o del gas nel getto può essere evitato: 1) modificando la permeabilità della sabbia. 2) essiccando meglio le anime o modificandone la miscela.</p>	



		<p>Occlusioni diffuse</p>	<p>Cavità globulari a pareti interne lisce, brillanti, esenti da macchie, distribuite in tutto il getto ma preferenzialmente nelle sue zone massicce di facile identificazione.</p>		<p>Presenza di gas nel metallo per:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Pratica di fusione scadente.</li> <li>2) Surriscaldamenti e temperatura di colata elevata.</li> <li>3) Sostanze carboniose nella sabbia.</li> </ol>	<p>Rivedere le possibili fonti di idrogeno nel metallo e soprattutto:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) L'atmosfera riducente.</li> <li>2) La reazione metallo forma.</li> </ol> <p>Lasciare raffreddare il metallo all'aria prima di colare. Le sabbie devono essere rigorosamente esenti da sostanze carboniose.</p>	
		<p>Occlusioni localizzate</p>	<p>Si tratta di cavità dello stesso tipo delle precedenti ma riunite in gruppi, strisce o file. Si tenga presente che non sempre sono vicine al punto dove il gas, origine del difetto, si sprigiona.</p>		<p>Presenza di gas nel metallo per:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) reazione metallo-forma locale.</li> <li>b) elaborazione difettosa sabbie e anime.</li> </ol>	<p>Eliminare tutte le zone reattive di forme e anime, cioè le zone in cui possa verificarsi una emissione di gas: zone umide, concentrazioni locali di alcool in combusto, strati eccessivi di collante per il sigillo delle staffe, particelle di silicato non ben distribuite.</p>	

		Trasudamenti	Si presenta principalmente con i bronzi binari ad alto titolo di Sn; la superficie del getto si ricopre di uno strato sottile di metallo tipicamente di colore argenteo. Con i bronzi al Piombo gocce e grumi di Pb vengono espulsi emergendo sulla superficie del getto.		<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Eccesivo tenore di gas nel metallo.</li> <li>2) Presenza di impurezze che favoriscono la segregazione del Piombo.</li> <li>3) Tenore di Stagno insufficiente di bronzi al Pb.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Revisione accurata delle tecniche di fusione per eliminare il gasaggio. Eventuale degasaggio.</li> <li>2) Si tratta di solito di alluminio e silicio: controllare materiali di partenza e refrattari dei torni.</li> <li>3) Con tenori di Pb tra 10 e 25% per evitare trasudamenti di Pb il tenore di stagno deve essere &lt; del 5%.</li> </ol>	
TIPO V (Venatura)	Caratteristiche sulla superficie dei getti che appaiono come una cresta e sono associate al movimento o alla fessurazione della sabbia.	Non prevista.			<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Sabbia o miscela d'anima non adatta.</li> <li>2) Verniciatura anime inadeguata.</li> <li>3) Temperatura di colata troppo alta.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Evitare sabbie troppo grossolane, troppo secche, troppo permeabili.</li> <li>2) Ridurre la temperatura per ridurre la fluidità.</li> </ol>	
TIPO VI (Coda di topo)	Caratteristiche sulla superficie dei getti che appaiono come una depressione derivante da una faglia o da una deformazione delle superfici dello stampo.	Escrescenze	Bave e sporgenze perpendicolari alla superficie, di modesto spessore, ma talvolta estese.		<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Miscela per anime: <ul style="list-style-type: none"> <li>- con troppa argilla;</li> <li>- troppo umida;</li> <li>- a granulometria troppo uniforme.</li> </ul> </li> <li>2) Cottura delle anime: <ul style="list-style-type: none"> <li>- con sbalzi termici;</li> <li>- a temperatura troppo elevata.</li> </ul> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Modificare composizione della miscela.</li> <li>2) Rivedere condizioni di cottura.</li> </ol>	
TIPO VII (Rughe, lacune, pieghe e riprese a freddo)	Irregolarità superficiali causate da una fusione incompleta o dalla piegatura delle superfici metalliche fuse.	Riprese e gocce fredde	La ripresa può essere confusa ad un esame sommario con una fessurazione nel corpo del getto. Anche la goccia fredda è un'inclusione di metallo della stessa composizione del resto del getto.		<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Dispositivo di colata inadeguato.</li> <li>2) Pratica di colata inadeguata.</li> <li>3) Sabbia troppo umida</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Dare la necessaria pressione idrostatica, dotare eventualmente di bacino di colata per</li> </ol>	

					<p>4) Scarsa fluidità del metallo. 5) Velocità di colata insufficiente.</p>	<p>eliminare turbolenze nel flusso. 2) Aumentare la temperatura di colata, disossidare e schiumare meglio, colare più lentamente. 3) L'eccessiva umidità causa un raffreddamento rapido del metallo che deve essere evitato per eliminare le riprese. 4) Rivedere i materiali di carica. 5) Aumentare la velocità di colata.</p>	
		Risucchi	<p>Il getto presenta cavità di una certa importanza, a pareti rugose, variamente colorate (arancione, bruno scuro) a volte tappezzate di dentriti. Le aree preferenziali per questi difetti sono le parti massicce, gli incroci, le flange spesse, i risalti.</p>		<p>1) Dispositivo di colata inadeguato. 2) Progetto del getto sbagliato. 3) Temperatura di colata troppo bassa.</p>	<p>1) Studiare attentamente l'andamento della solidificazione, aggiungere montanti nel punto giusto. Talvolta sono necessari raffreddatori. 2) Aumentare la temperatura di colata.</p>	<p>1) Spessori eccessivi, brusche variazioni di spessore devono essere eliminati oppure alimentati opportunamente.</p>
		Microrisucchi	<p>Si tratta di un reticolato di porosità spugnose di solite diffuse a tutta la massa del getto. Le cavità sono di forma irregolare, rugose, variamente colorate, specie un bruno scuro.</p>		<p>1) Dispositivo di colata errato. 2) Pratica di colata errata. 3) Temperatura di colata eccessiva.</p>	<p>1) Il riempimento della forma può essere troppo veloce. Colare a pioggia per ottenere una solidificazione progressiva dal basso verso l'alto. 2) Ridurre la temperatura.</p>	<p>1) Rivedere tutto il sistema di alimentazione, migliorando il materozzaggio.</p>

		<p>Mancanze</p> <p>L'impronta non è completamente riempita: una o più estremità del getto sono incomplete; nelle pareti del getto se sottili, si possono trovare buchi a bordo molto rotondo, raccordato.</p>		<p>1) Dispositivo di colata non ben studiato.                  2) Sabbie troppo umide, poco permeabili, troppo costipate.                  3) Scarsa fluidità del metallo.                  4) Anime rotte o mobili.</p>	<p>1) Verificare che esista sufficiente pressione idrostatica. Mantenere il colatoio pieno per tutta la durata della colata.                  2) Evitare tutte queste condizioni che impediscono la fuoriuscita del gas e creano contropressioni al metallo nell'impronta.                  3) Impurezze nei metalli di carica, scarsa disossidazione, schiumatura inefficiente sono cause da eliminare.                  4) Rinforzare la miscela o le anime stesse mediante supporti metallici.</p>	
		<p>Inclusioni solide</p> <p>Il getto contiene particelle più o meno consistenti di sostanze solide, metalliche o non, non omogenee con il resto della lega.</p>		<p>1) Pratica di fusione scadente.                  2) Pratica di colata scadente.</p>	<p>1) Rivedere i materiali di carica e i flussi: il ferro presente nella carica può comparire come inclusione solida nei getti.                  2) Curare maggiormente la schiumatura. Rendere più lento e regolare il flusso del metallo nelle forme.</p>	
<p>TIPO VIII (Segni di taglio)</p>	<p>Irregolarità nelle superfici dei getti derivanti da bruciature o da mezzi meccanici utilizzati per la pulizia dei getti.</p>	<p>Non prevista.</p>		<p>1) Pratica di pulizia del getto fuso inadeguato e/o scadente.</p>	<p>1) Utilizzo di attrezzature idonee.                  2) Verifica stato usura attrezzatura.</p>	

TIPO IX (Croste)	Imperfezioni superficiali leggermente rialzate che di solito sono ricoperte da un sottile strato poroso di metallo.	Rigonfiamenti	Getto deformato nella parte superiore per lo spostamento della sabbia operato dal metallo che entra nell'impronta.		1) Costipatura troppo leggera. 2) Pesi scarsi.	1) Compattare di più la sabbia. 2) Aumentare i pesi.	
		Spostamenti	La parte superiore e inferiore del getto, alla linea di giunzione, non combaciano esattamente.		1) Carenze del modello. 2) Errato allineamento degli spinotti. 3) Casuale disassamento delle staffe durante la movimentazione.	1) Controlli più severi. 2) Utilizzo di strumenti per migliorare centraggio e allineamento staffe.	1) Controllare lo stato del modello. Assicurarsi che le dimensioni siano corrette.
		Cedimenti	Le quote del disegno non sono rispettate nel getto per cedimento della sabbia.		1) Portate d'anima insufficienti. 2) Pesi eccessivi. 3) Costipatura uniforme. 4) Posizionamento trascurato del coperchio.	1) Verifica del progetto di formatura. 2) Maggior cura da parte del formatore.	1) Controllare e modificare le portate d'anima.
		Variazione di spessore di parete	Il getto presenta, in uno o più punti, spessori diversi da quelli del disegno.		1) Casse d'anima usurate. 2) Portate d'anima eccessive. 3) Costipatura disuniforme.	1) Controlli dimensionali accurati. 2) Eliminare le zone a costipatura più leggera perché sono soggette a rigonfiamento a contatto col metallo fuso.	1) Controllare lo stato delle casse d'anima. 2) Controllare e modificare le portate d'anima.
TIPO X (Cappelletti)	Evidenza di cappelletti sulla superficie del getto che rivelano una fusione incompleta, che può essere applicata anche ai getti interni.	Non prevista.			1) Pratica di fusione scadente. 2) Pratica di colata scadente.	1) Rivedere i materiali di carica e i flussi: il ferro presente nella carica può comparire come inclusione solida nei getti. 2) Curare maggiormente la schiumatura. Rendere più lento e regolare il flusso del metallo nelle forme.	

<p>TIPO XI (Aree di riparazione delle saldature)</p>	<p>Evidenza di una preparazione impropria della superficie dopo la saldatura.</p>	<p>Non prevista.</p>			<p>Non corretta attuazione delle procedure di saldatura a seguito riparazione.</p>	<p>Verifica dell' idoneità del processo di saldatura (WPS, PQR); qualifica del personale.</p>	
<p>TIPO XII (Rugosità superficiale)</p>	<p>Struttura della superficie dovuta al design, al modello, alla gettata e alle condizioni della sabbia.</p>	<p>Erosioni della sabbia</p>	<p>Il getto presenta in alcuni punti della superficie sporgenze di metallo scabro. In altri punti ci possono essere depressioni o mancanze a superficie scabra, granulosa.</p>		<p>1) Portate d'anima insufficienti. 2) Costipatura troppo leggera. 3) Anime troppo tenere. 4) Miscela sabbia inadatta. 5) Dispositivo di colata inadeguato. 6) Verniciatura di staffe e anime inadeguate .</p>	<p>Eliminare tutte le cause che favoriscono l' erosione delle terre e delle anime, a partire dalla scarsità di legante nella miscela, dalla secchezza eccessiva, fino al progetto del colatoio, del piede di colata, del collettore ecc.</p>	<p>1) Controllare e modificare le portate d'anima.</p>
<p>A</p>	<p>Evidenza di sfaldature localizzate sulla superficie del getto.</p>	<p>Sfaldature e/o sfogliature</p>	<p>Il getto presenta in alcuni punti squame distaccate e ripiegate sulla superficie.</p>		<p>1) Composizione del getto non rispondente alle caratteristiche previste e/o richieste.</p>	<p>1) Analizzare il materiale utilizzato per la colata. 2) Curare maggiormente la pulizia del crogiolo.</p>	
<p>B</p>	<p>Anomalia dovuta ad eccessiva difficoltà nella lavorazione a disegno su centro di lavoro del grezzo.</p>	<p>-</p>	<p>Il grezzo, principalmente in ghisa grigia, presenta difficoltà ad essere lavorato per eccessiva durezza del materiale.</p>		<p>1) Composizione del getto non rispondente alle caratteristiche previste e/o richieste. 2) Per la ghisa grigia dovuta ad un basso contenuto di elementi grafitizzanti (Si,Al,Ni) con conseguente</p>	<p>1) Analizzare il materiale utilizzato per la colata. 2) Curare maggiormente la pulizia del crogiolo.</p>	



					incremento della cementite a scapito della grafite presente nel getto.		
C	Non rispondenza funzionale e/o di forma.	-	Il getto non rispetta le caratteristiche di forma e/o funzionali previste a disegno.		1) Errata e/o mancata disposizione delle anime durante la preparazione.	1) Verificare il corretto uso delle anime e la loro corrispondenza con il getto da realizzare. 2) Attuare in fase di preparazione ed attrezzaggio dei sistemi di verifica e controllo più efficaci.	

La realizzazione della tabella è stato il punto di partenza per potere associare alle non conformità riscontrate e presenti nel database aziendale il “*tipo*” di difetto enumerato. I dati presi in considerazione riguardano tutte le non conformità assoggettabili ai componenti di fusione, osservate in un periodo temporale di circa 20 anni, ed esattamente dal 1999 al 2021. Un estratto dei dati storicizzati è riportato nella seguente tabella (Figura 18) e rappresentato graficamente con un diagramma a torta (Figura 19).

CLASSIFICAZIONE DIFETTO PRINCIPALE	MATERIALE	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
IV	IV	272	259	301	177	321	337	204	181	222	160	182	102	202	213	919	292	289	299	145	176	108	36	35
	ACCIAIO INOX & LEGHE SBCREALL	22	39	23	11	15	120	15	37	16	7	43	20	35	87	197	101	68	50	34	17	24	10	1
	ALLUMINIO	22					1	1	4	1				11	1	2	8	8	9					1
	BRONZO	91	61	87	43	64	113	111	48	69	25	36	18	45	60	196	125	151	65	99	158	66	19	22
	GHSA	159	137	191	123	242	103	77	92	136	128	103	64	111	65	524	58	62	175	12	1	18	7	11
IX	IX	11	29	110	64	70	86	70	38	65	88	102	31	56	61	53	66	66	70	107	41	44	28	5
	ACCIAIO INOX & LEGHE SBCREALL	2	6	20	3	15	31	30	16	29	33	47	21	28	42	9	35	26	49	34	32	23	17	
	ALLUMINIO								1			1			1								2	
	BRONZO	2	10	29	35	13	20	8		13	22	7	1	6	3	11	14	20	5	50	4	7	3	4
	GHSA	7	13	61	26	42	35	32	21	23	33	47	9	22	15	33	17	20	16	23	5	14	6	1
VII	VII	11	57	53	54	125	50	63	127	119	54	103	39	54	48	12	97	43	73	52	47	20	7	26
	ACCIAIO INOX & LEGHE SBCREALL	1	9		3	10	8	14	2	13	7	31	2	3	16	2	73	11	36	42	42		4	4
	ALLUMINIO														1			1						
	BRONZO	2	4	6	12	33	9	2	3	1	2	3	2	6	10	4	7	11	27	9	3	18		22
	GHSA	8	44	47	39	82	33	47	122	105	45	69	35	45	21	6	17	20	10	1	2	2	3	
B	B	6	9	17	6	12	6	22	10	30	50	47	132	102	6	0	195	30	20	16	10	2	1	8
	ACCIAIO INOX & LEGHE SBCREALL	5		17		1																	2	
	ALLUMINIO																							
	BRONZO																							
	GHSA	1	9		6	11	6	22	10	30	50	47	132	102	6		195	30	20	16	10		1	8
II	II	44	32	52	22	27	31	27	8	23	11	12	57	11	18	30	4	92	43	16	12	8	4	3
	ACCIAIO INOX & LEGHE SBCREALL	14	1	2		1					2	1			7	2								
	ALLUMINIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BRONZO	21	9	3	6	8	2	3	2	2	3	6	4	3	4	2	2	15	19	11	12	4	1	2
	GHSA	9	22	47	16	18	29	24	6	21	6	5	53	8	7	26	2	77	24	5		4	3	1
V	V	6	30	19	30	19	16	67	31	61	24	12	1	4	0	1	6	12	16	3	40	3	2	0
	ACCIAIO INOX & LEGHE SBCREALL		7	7	1				2											4		6		
	ALLUMINIO																	1						
	BRONZO	1	6	12	11	2	2		3	2	2						6	2	1	1	32			
	GHSA	6	22	6	17	8	14	65	29	58	22	10	1	4		1		9	11	2	2	3	2	
III	III	14	9	6	7	33	3	56	3	11	0	1	0	0	2	2	2	0	0	0	0	2	1	0
	ACCIAIO INOX & LEGHE SBCREALL					1			1						2	1	2							
	ALLUMINIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BRONZO	2	9	6	7	32	3	53	2							1							2	
	GHSA	12						3		11		1											1	
C	C	0	2	1	1	14	1	1	32	1	5	7	5	1	0	6	1	0	2	0	0	0	0	2
	ACCIAIO INOX & LEGHE SBCREALL		1	1		1	1	1	1		3					6			1					
	ALLUMINIO																							
	BRONZO		1		1	2						4	1	1			1		1					2
	GHSA					11			31	1	2	3	4											
VIII	VIII	0	4	0	0	15	2	0	7	2	0	0	1	0	2	0	0	0	1	0	0	2	0	0
	ACCIAIO INOX & LEGHE SBCREALL		4						7						1									
	ALLUMINIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BRONZO					9	2						1										1	
	GHSA					6					2					1				1			1	
XI	XI	0	5	1	4	7	3	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ACCIAIO INOX & LEGHE SBCREALL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ALLUMINIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BRONZO		1	1	1	4	2																	
	GHSA		4		3	3	1		1	2	1													
I	I	0	1	0	0	0	4	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ACCIAIO INOX & LEGHE SBCREALL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ALLUMINIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BRONZO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	GHSA		1				4			7														
VI	VI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
	ACCIAIO INOX & LEGHE SBCREALL										2													
	ALLUMINIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BRONZO																	1		1				
	GHSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
XII	XII	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	ACCIAIO INOX & LEGHE SBCREALL	2																		1				
	ALLUMINIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BRONZO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	GHSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A	A	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	ACCIAIO INOX & LEGHE SBCREALL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ALLUMINIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BRONZO																	1						
	GHSA							1			1													

Figura 18 – Classificazione difetti per anno in base alla metallurgia

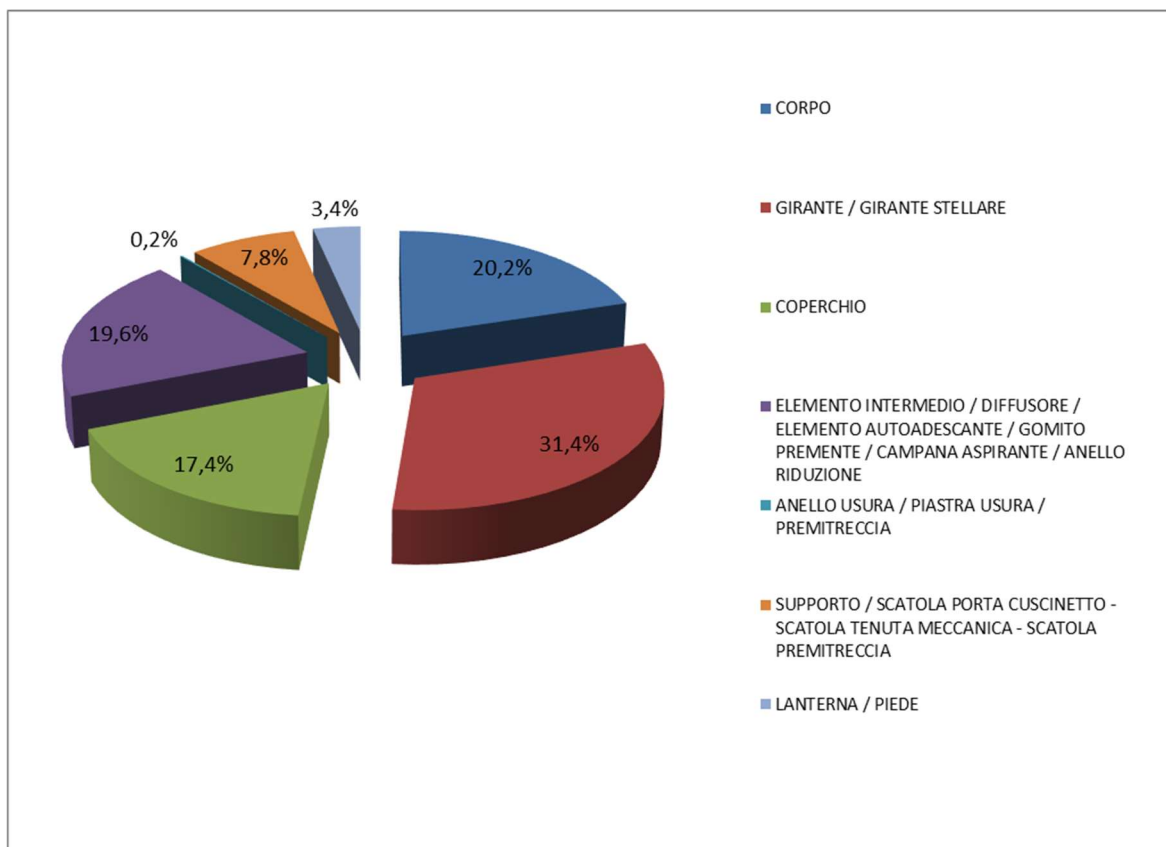


Figura 19 – Classificazioni difetti per tipologia di componente

L'analisi ABC dei dati acquisiti (Figura 20) mostra come difetto dominante quello relativo al tipo IV, ovvero "porosità da gas" (53,41 %) e quindi legato principalmente al processo di fonderia. Subito dopo troviamo i difetti di tipo IX (13,38 %) e VII (13,12 %) che se considerati insieme rappresentano circa un terzo del totale. Per questi due tipi di difetto ad essere coinvolta non è solo la fonderia ma anche e soprattutto l'attrezzatura (*modelli e casse d'anime*), utilizzata per la realizzazione dei getti. Lo stato di manutenzione di tale attrezzatura va ad incidere negativamente sul processo di realizzazione dei getti e quindi sulla possibilità di ottenere dei grezzi esenti da difetti. Questa è la correlazione che volevamo trovare perché mentre per la fonderia, ciò che si può fare è ben poco, ovvero possono essere intraprese delle azioni di sensibilizzazione sulla qualità resa ed economico-commerciali volte a migliorare gli accordi e i rapporti con l'azienda fornitrice, per le attrezzature, essendo

queste di proprietà della Pompe Garbarino S.p.A., è compito di quest'ultima mantenerla in efficienza, garantirne adeguata disponibilità in termini sia logistici che di condizioni d'uso. Da questo si deduce che l'azienda dovrebbe migliorare il proprio sistema di gestione dell'attrezzatura.

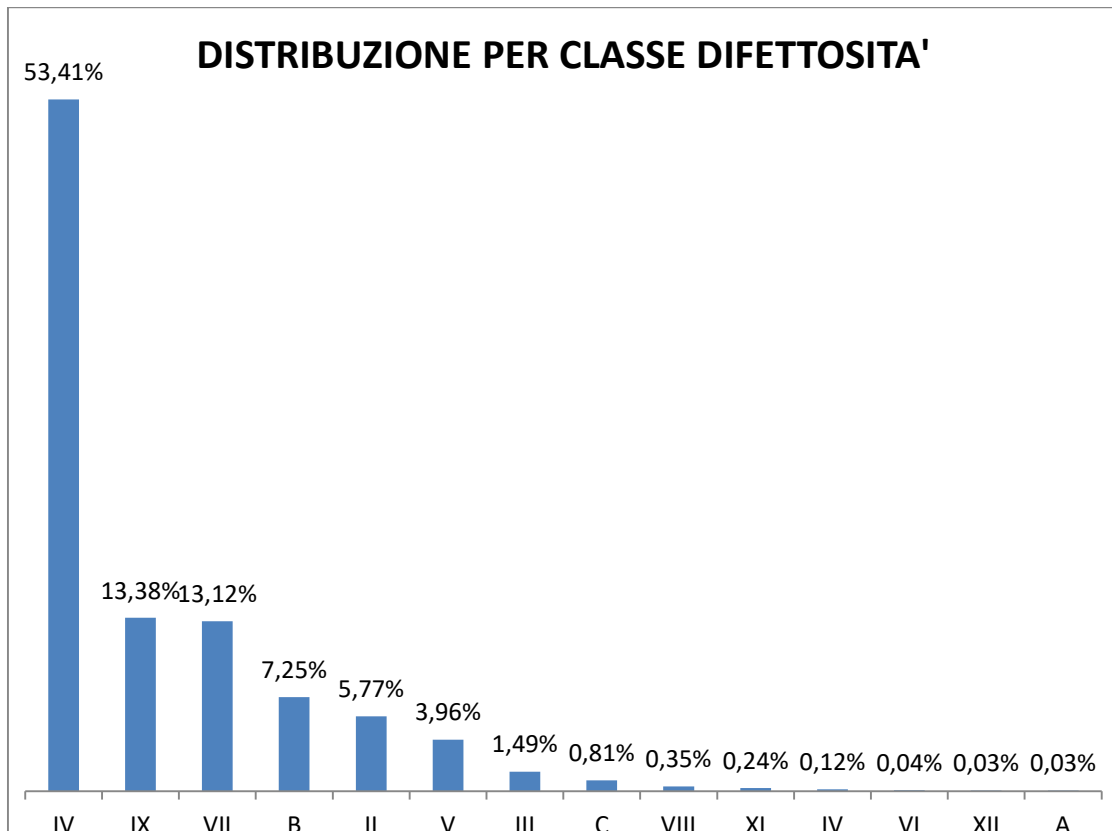


Figura 20 – Distribuzione per classe difettosità

## CAPITOLO 6

### Conclusioni

La gestione dell'attrezzatura rappresenta un fattore critico per l'azienda, in quanto va ad incidere sugli indicatori di performance aziendali sia economici di fatturato e bilancio sia commerciali in affidabilità nel soddisfacimento degli impegni e/o ordini acquisiti. I modelli di cui parliamo vengono utilizzati il più delle volte per realizzare getti di fusioni di tutte le metallurgie. Quindi un modello viene utilizzato sia per realizzare getti in ghisa che in bronzo o inox. Questo comporta alti costi di manutenzione, manutenzione che consiste nella modifica parziale del modello ogni qualvolta questo deve essere trasferito da una fonderia all'altra, ma anche elevati tempi di approvvigionamento che vanno ad incidere direttamente nella produzione del prodotto finito, come ritardo di consegna al cliente e quindi in perdita di immagine e/o nel caso peggiore nella perdita di opportunità commerciali in concorrenza con altre aziende produttrici di pompe. Per questo l'azienda ha provveduto e sta ancora investendo nella duplicazione o alle volte anche triplicazione dell'attrezzatura da fornire in comodato d'uso alle varie fonderie, in modo da contenere i ritardi causati dalla movimentazione (ritardi logistici) e/o da indisponibilità per attività di ricondizionamento e manutenzione. L'ideale sarebbe appunto avere un modello per ogni tipo di metallurgia in modo da annullare gli spostamenti che questo subisce.

Una volta trasportati i modelli in fonderia e utilizzati per la realizzazione dei getti, questi non vengono riconsegnati all'azienda ma restano in fonderia fin quando non arriva un nuovo ordine o fin quando devono essere spostati in un'altra fonderia. Uno dei problemi che si verifica è che appunto lo stato di immagazzinamento e conservazione del modello presso la fonderia non è adeguato e quindi l'attrezzatura risulta sempre non idonea e ha necessità di

essere ricondizionata. Una possibile soluzione può essere quella della costruzione di tensostrutture in punti strategici dove conservare l'attrezzatura e gestirla così autonomamente. Quindi ogni qualvolta si effettuano le fusioni ordinate sarà compito dell'azienda recuperare l'attrezzatura dalla fonderia e provvedere al corretto immagazzinamento e conservazione dell'attrezzatura. In questo risulterebbe notevolmente ridotta la probabilità di evadere in ritardo gli ordini, poiché l'attrezzatura non deve essere necessariamente ricondizionata.

Ciò che bisognerebbe fare è andare ad intervenire cercando di ridurre al minimo la probabilità che si generino difetti dovuti alle condizioni precarie dell'attrezzatura. Si dovrebbe quindi cercare di anticipare questo aspetto e mandare alla fonderia attrezzatura che sia idonea al 100%. Attuare dei sistemi di manutenzione preventiva o programmata potrebbe essere una soluzione al problema dell'usura del modello. In questo senso lo step successivo al seguente lavoro potrebbe essere quello di andare a studiare la possibile esistenza di un criterio preventivo, una legge matematica che preveda ogni quanto un modello deve essere ricondizionato, rottamato e sostituito andando ad analizzare dati sugli spostamenti che questo subisce nel corso degli anni.

## **BIBLIOGRAFIA E SITI WEB CONSULTATI**

- <http://www.pompegarbarino.com/>
- Manuale Integrato, Procedure e Istruzioni – Pompe Garbarino S.p.A..
- Danneggiamenti prodotti da fonderia (Getti) da AQM, 2 Ottobre 2018, Failure Analysis.
- ANSI/MSS SP-55-2011 - Quality Standard for Steel Castings for Valves, Flanges, Fittings, and Other Piping Components - Visual Method for Evaluation of Surface Irregularities.
- Nota tecnica: “Difetti di fonderia nei getti di bronzo: cause e rimedi”.
- “The new metallurgy of cast metal: castings”, John Campbell, Second Edition, BH.
- Fonderie di Ghisa di II fusione, Capitolo 2, Descrizione ed analisi del ciclo produttivo dei beni.
- <https://www.aipnd.it/>
- Articolo - CND: come, quando e perché. Omeco S.r.l, Centro ricerca, prove materiali, tarature.
- Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid, "Tecnologia meccanica" (edizione italiana a cura di Stefania Bruschi), Milano: Pearson, 2008.