

**Capitolo 4**  
**STRATEGIE DI MIGLIORAMENTO, PREVENZIONE E**  
**CONTROLLO DELL'INQUINAMENTO**

## 4.1 Scarico e stoccaggio di materie prime e accessorie

### 4.1.1 Migliori tecnologie di processo

#### 4.1.1.1 Scarico con dispositivi pneumatici

Se il conferimento della sabbia silicea così come le altre sostanze preparate in polvere se avviene in impianti chiusi e automatici sotto aspirazione, e viene scaricata nei silos tramite sistemi pneumatici si evita la produzione di polveri diffuse (Foto 4.1.1).



Foto 4.1.1 Scarico pneumatico di sabbia silicea da autocisterna a silos.

#### 4.1.1.2 Copertura e pavimentazione delle zone di stoccaggio dei rottami

- La sicurezza delle operazioni di carico del forno sono strettamente legate alle condizioni di umidità del rottame; l'introduzione di acqua in un bagno di metallo fuso può determinare infatti fenomeni esplosivi di "bolle" di metallo dovuti alla repentina evaporazione ed emissione di vapore; è dunque opportuno coprire con tettoie le zone di stoccaggio del rottame stesso.

- Questo consente anche di prevenire l'ossidazione, che contribuisce al deterioramento del refrattario, dovuta a ruggine.

- Oltre a questo la pavimentazione in cemento dell'area di stoccaggio evita di immettere terra o altro sporco insieme al rottame, che sono anch'essi causa di danni al refrattario.

La pavimentazione in cemento armato impedisce il contatto fra rottame e suolo e consente una raccolta delle acque che possa prevenire un incontrollata contaminazione.



Foto 4.1.1 Stoccaggio esterno di resina e induritore con bacini di contenimento separati.

#### 4.1.1.3 Misure speciali per sostanze infiammabili (o che possono reagire fra loro)

Buone soluzioni tecniche consistono nell'utilizzare i prodotti pericolosi in impianti chiusi ed automatici, nel mettere in atto tutte quelle misure necessarie ad evitare imbrattamenti, sgocciolamenti, sversamenti, nell'effettuare verifiche periodiche per controllare che non ci siano perdite sulle tubazioni dell'impianto di miscelazione, nel predisporre sistemi di contenimento contro eventuali sversamenti accidentali, in bacini

per resina e induritore separati (Foto 4.1.1) per evitare che si verifichino reazioni chimiche violente dovute al contatto diretto tra i due prodotti, nell'utilizzare per eventuali piccoli travasi manuali, contenitori di sicurezza a tenuta dotati di tappo con molla di chiusura.

#### 4.1.1.4 Uso di rottami [esterni al processo di fusione] "puliti" ed eliminazione delle sabbie.

L'utilizzo di rottami "puliti" previene il rischio che composti quali, calce, ossidi di ferro, ossidi di manganese e ossidi basici, possano attaccare il rivestimento interno del forno ed il rivestimento

interno delle siviere, diminuendone il tempo di vita, vadano inoltre ad aumentare quantità di scorie prodotte.

La presenza di ossidi nel forno determina anche un peggioramento del bilancio energetico della fusione assorbendo parte dell'energia della fusione. Inoltre la rimozione delle scorie richiede una temperatura di fusione più elevata perché queste divengano liquide, peggiorando ulteriormente il bilancio energetico.

L'utilizzo di rottami puliti inoltre ad un miglioramento della qualità delle emissioni ed una diminuita produzione di scorie. Per contro il costo del rottame "pulito" è superiore del 20% - 30% a quello riciclato.

#### **4.1.1.5 Riciclaggio o smaltimento di contenitori usati**

I contenitori usati di sostanze chimiche e additivi è bene siano ritirati dai fornitori stessi dei prodotti e vengano da essi riutilizzati.

### **4.1.2 Migliori tecnologie di depurazione**

#### **4.1.2.1 Scuotimento automatico delle dei filtri a maniche**

Per ridurre le emissioni convogliate degli inquinanti captati dai sistemi di aspirazione sugli impianti produttivi, e allo scopo di rispettare i limiti di legge per le emissioni in atmosfera, sono adottati appositi impianti di abbattimento con recupero delle polveri.

In generale l'abbattimento a secco con filtri a maniche è idoneo per temperature non troppo elevate (massimo  $180 \div 200^{\circ}\text{C}$ ) e per inquinanti non umidi. Le particelle aspirate ed aventi granulometrie più elevate decantano subito nella parte inferiore del gruppo filtrante, mentre le particelle con granulometrie più piccole aderiscono alla superficie esterna delle maniche filtranti; l'aria filtrata e pulita verrà convogliata nella parte alta del filtro per essere espulsa.

L'efficienza varia a seconda della quantità di polvere che via via si accumula sulle maniche, pertanto è necessario il loro periodico scuotimento che normalmente avviene tramite un getto di aria compressa in controcorrente per mezzo di apposite elettrovalvole. In alcuni impianti lo scuotimento delle maniche avviene ad intervalli di tempo prestabiliti, ma negli impianti più moderni lo scuotimento delle maniche avviene in modalità automatica a seconda del valore misurato di pressione dell'aria che attraversa la manica. Questo secondo metodo consente diversi vantaggi, tra i quali:

- possibilità di variare il ciclo di scuotimento in funzione delle reali necessità dell'impianto di aspirazione al quale il depolveratore è collegato; il depolveratore può infatti essere amministrato da un timer sequenziatore, collegato elettricamente con le elettrovalvole e concepito in modo da poter regolare la pulizia in funzione delle reali necessità di filtrazione, le quali a loro volta dipendono anche da quanti punti di aspirazione sono contemporaneamente funzionanti nei vari punti dell'impianto terre;
- facilitazione del processo di pulizia in controcorrente che provoca il distacco dello strato di polvere depositato sul tessuto, in modo da pulire lo stesso in profondità, restituendo al tessuto filtrante il massimo grado di permeabilità;
- possibilità di tarare ogni filtro per le specifiche necessità e particolarità dell'impianto produttivo al fine di ottenere il rendimento migliore per ogni caso particolare.

#### **4.1.2.2 Sistema automatico di monitoraggio dei filtri a manica**

Il sistema filtrante a maniche può essere dotato di un sistema automatico per il monitoraggio delle maniche filtranti, basato sull'effetto triboelettrico (capacità di generare cariche elettrostatiche per collisione o sfregamento). La rilevazione della percentuale di polverosità viene effettuata per mezzo di una sonda metallica inserita all'interno del flusso gassoso da analizzare. Quando le particelle di polvere collidono con l'asta si genera una corrente elettrica proporzionale alla concentrazione di

particelle di polvere. Con tale sistema è quindi possibile monitorare costantemente le condizioni di lavoro delle maniche filtranti. In presenza infatti di lacerazioni sul tessuto di queste ultime, la sonda rileverà un aumento delle polveri segnalando in tempo reale l'esatta fila di maniche ove si è verificata l'anomalia bloccando la relativa elettrovalvola di immissione del flusso gassoso.

#### **4.1.2.3 Inverter per filtri a maniche**

Il sistema filtrante a maniche, oltre a disporre del quadro elettrico di comando, può essere dotato di un convertitore di frequenza (inverter) ubicato all'interno del quadro stesso e completo di tastiera di programmazione. Un trasduttore di pressione, inserito all'interno della canalizzazione di immissione polveri all'interno del gruppo filtrante, misurerà in tempo reale l'aumento o la diminuzione delle pressioni in funzione della apertura o chiusura di una delle serrande di inclusione / esclusione a servizio dell'impianto, interagendo così con l'inverter che comanda l'aumento o diminuzione del numero di giri di rotazione del motore di ventilatore aspirante.

I vantaggi più significativi derivanti dall'utilizzo di un sistema di regolazione a inverter sono i seguenti:

- rilevante risparmio di corrente assorbita dal motore (vedi paragrafo consumo di energia e di risorse);
- soppressione dei sistemi meccanici di parzializzazione;
- avviamento graduale;
- installazione semplificata;
- riduzione dell'inquinamento acustico;
- riduzione del consumo del riscaldamento ambientale per la corretta e bilanciata aspirazione che se ne ottiene.

#### **4.1.2.4 Misure per evitare depositi di terre nelle tubazioni**

Si ricorda qui che le terre di fonderia utilizzate per la formatura a verde sono più umide di quelle utilizzate per la formatura a resina, pertanto è necessario tenere conto di questo aspetto nella scelta dell'impianto di abbattimento. È fondamentale il corretto dimensionamento e progettazione dell'impianto per evitare che, in prossimità di curve o dove si possono verificare turbolenze, si formino depositi di terra nelle tubazioni di aspirazione con conseguente intasamento o restringimento delle sezione utile. Per questo motivo alcune aziende hanno pertanto effettuato la coibentazione della tubazione e introdotto un combustore a metano che ha la funzione di innalzare il punto di rugiada. Per l'abbattimento delle emissioni provenienti da impianti per la formatura a verde, alcune aziende utilizzano impianti ad umido; altre aziende utilizzano comunque l'impianto a secco con filtri a maniche, avendo risolto il problema della umidità della terra antepoendo ad essi il combustore a metano. Il combustore a metano dà luogo alla produzione dei fumi di prodotti di combustione, le cui emissioni in atmosfera vengono abbattuti dall'impianto stesso.

## 4.2 Formatura, produzione anime e preparazione delle terre

### 4.2.1 Migliori tecnologie di processo

#### 4.2.1.1 Formatura a resina

Come si è visto al capitolo 2 i componenti della terra di fonderia per la formatura a resina sono costituiti da sabbia silicea, resine sintetiche (furaniche, fenoliche, fenolfuraniche, ureiche) e catalizzatori (ammine alifatiche), costituiti in genere da una soluzione acquosa di acidi forti.

#### 4.2.1.2 Utilizzo di impianti chiusi per la miscelazione e tecniche appropriate

La miscelazione dei componenti deve avvenire in appositi impianti chiusi costituiti essenzialmente da una coclea nella quale la sabbia proveniente dai silos di stoccaggio viene mescolata con resine e catalizzatori prelevati tramite pompe dalle cisterne di stoccaggio. Il rapporto dei prodotti viene modificato in base alle variazioni di temperatura della *terra*, la quale può essere controllata tramite l'inserzione automatica di un riscaldatore / raffreddatore.

Per favorire il distacco della *terra di fonderia* indurita che resta incrostata sulle parti meccaniche interne della coclea, viene utilizzato un apposito prodotto distaccante, chiamato anche *inibitore* in quanto evita l'indurimento. L'*inibitore* è un prodotto organico basico in veicolo acquoso (soluzione di trietanolamina tecnica), fornito in fusti da 20 Kg, e talvolta viene prelevato attraverso una elettrovalvola in un impianto pneumatico e spruzzato automaticamente nella coclea (dopo un certo tempo programmabile di inutilizzo della macchina stessa).



Foto 4.2.1 Contenitore di sicurezza

Durante la taratura del mescolatore delle terre, il rifornimento, lo stoccaggio, il travaso, la movimentazione manuale di resina e catalizzatori e durante la formatura stessa, si possono sviluppare vapori di fenolo, formaldeide, alcool furfurilico dovuti sia ai prodotti della reazione chimica, sia ai monomeri costituenti la resina stessa. Le tecniche da adottare possono essere le seguenti:

- dosare correttamente la percentuale di resine e

catalizzatori, non superando le dosi

strettamente necessarie;

- Installare impianti di aspirazione localizzata il più vicino possibile alla fonte per ridurre le emissioni diffuse;
- utilizzare i prodotti pericolosi in impianti chiusi ed automatici, mettendo in atto tutte quelle misure necessarie ad evitare imbrattamenti, sgocciolamenti, sversamenti;
- predisporre sistemi di contenimento contro eventuali sversamenti accidentali (Foto 4.2.2);
- munire della prescritta etichettatura tutti i contenitori, anche quelli utilizzati per eventuali travasi;
- rispettare la prescritta colorazione delle tubazioni;



Foto 4.2.2 Sistema di contenimento di sgocciolamenti e sversamenti

- seguire procedure corrette di lavoro, quali ad esempio: evitare di introdurre l'induritore in recipienti che hanno contenuto la resina (o viceversa); aggiungere alla sabbia l'induritore prima della resina.

#### 4.2.1.3 Rigenerazione delle terre di recupero della formatura a resina

La terra proveniente dalla griglia distaffatrice cade in una tramoggia che alimenta una macchina chiamata frantoio che trita le zolle facendole diventare più piccole, segue poi un sistema pneumatico di trasporto fino ad un ciclone nel quale avviene uno sbattimento della terra che determina la spogliatura dei grani della terra stessa dal composto che si è formato per la reazione di resina e induritore; a questo punto la terra cade in un vaglio il quale la separa in tre parti: una parte è recuperata per aspirazione ed è costituita dalle polveri fini, mentre le altre due parti sono ottenute per vagliatura e sono zolle dure e terra rigenerata. Quest'ultima viene quindi inviata ad un raffreddatore ed infine, sempre con sistema pneumatico, ai silos di stoccaggio.

#### 4.2.1.4 Uso di impianti pneumatici nel trasporto delle terre di recupero della formatura a resina.

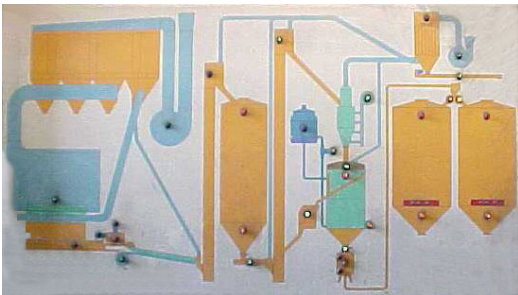


Foto 4.2.1 Pannello sinottico per il controllo dell'impianto chiuso ed automatico per le terre a resina.

Le terre di recupero dalla distaffatura delle forme a resina hanno un contenuto di umidità inferiore rispetto a quelle della formatura a verde con una maggiore emissione di polveri diffuse, di conseguenza risulta migliorativo l'impiego di trasportatori pneumatici chiusi rispetto all'uso di trasportatori a nastro.

#### 4.2.1.5 Sistema di controllo automatico

##### dell'assorbimento dei motori dei nastri trasportatori.

Per evitare il blocco di un nastro trasportatore con conseguente fuoriuscita di terre trasportate una buona tecnica in uso consiste nell'installare un impianto di controllo che fornisca in tempo reale i valori di assorbimento di corrente dei motori dei nastri trasportatori e che possa dare l'allarme in caso di superamento dei valori normali di assorbimento. In tal modo si può intervenire per la manutenzione preventiva, ad esempio sostituendo un cuscinetto prima che esso provochi il blocco del nastro.



Foto 4.2.1 Quadro di controllo nastri trasportatori.

#### 4.2.1.6 Impianto per analisi e controllo automatico della preparazione terre.

È un impianto moderno che può essere abbinato alla molazzatrice al fine di effettuare il controllo automatico nella preparazione della miscela costituiva delle terre di formatura. La macchina controlla la temperatura in entrata ed in uscita, l'umidità in entrata ed in uscita, effettua l'analisi della coesione della terra, valuta la compattabilità e regola la quantità di acqua e di additivi da aggiungere alla miscela, ottimizzando consumi e prestazioni.

#### 4.2.1.7 Formatura a verde

#### 4.2.1.8 Fresa automatica per fori di colata

Alla macchina *formatrice* può essere abbinata una *fresa automatica* che, con un braccio robotizzato, effettua nelle *forme* i fori attraverso i quali dovrà essere versata la lega metallica fusa e i fori di

sfiato dei gas che si produrranno nella *forma* al momento del contatto di quest'ultima con la lega fusa. Questa macchina permette di calibrare i fori in funzione della quantità di metallo fuso che deve essere introdotto nelle *forme* e quindi di ridurre al minimo la dimensione delle *materozze*. L'ottenimento di *materozze* più piccole permette di ottimizzare il processo e risparmiare energia nella fase  *fusione* dovendo fondere meno materiale per produrre lo stesso pezzo.

#### 4.2.1.9 Produzione anime

Per quanto riguarda l'indurimento con SO<sub>2</sub> le emissioni devono essere convogliate mediante una chiusura completa, sotto cappa, delle macchine di formatura e spara anime, verso l'impianto di abbattimento.

#### 4.2.1.10 Cold Box

Per la produzione di anime col processo Cold Box, sia che vengano usate resine fenoliche, furaniche, poliuretaniche e furfuriliche la temperatura della sabbia deve essere sotto controllo per assicurare un corretto utilizzo dei componenti e mantenuta costante, più bassa possibile (dai 15 ai 30 °C) per ridurre al minimo le emissioni. Per le resine furaniche in particolare, deve essere evitato il contatto diretto fra la resina ed i catalizzatori in modo da evitare reazioni esotermiche violente.

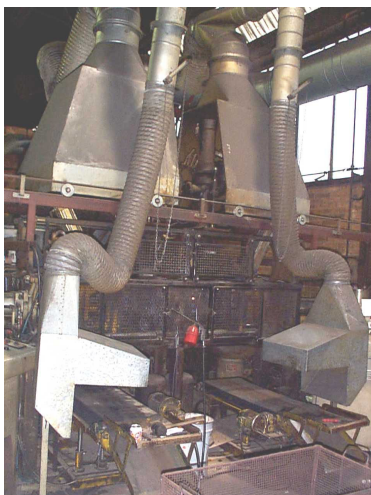


Foto 4.2.2 Macchina spara anime hot box con 2 semi-cappe superiori mobili.

I vapori di ammina devono essere aspirati alla macchina spara anime (Foto 4.2.2), ma può anche essere necessario, ventilare l'area di immagazzinamento anime; quando

necessario, per evitare emissioni diffuse dovrebbero essere installate cappe di aspirazione sia sopra le macchine formatrici e spara anime che sopra l'area di immagazzinamento.

La tecnologia migliore in uso è costituita dalla *macchina spara anime* con un tipo automatico chiuso e aspirato (Foto 4.2.1).



Foto 4.2.1 macchina spara anime cold box, automatica, chiusa e aspirata.

#### 4.2.1.11 Hot box

È opportuno che venga effettuata la verifica periodica e relativa manutenzione dei bruciatori del sistema di riscaldamento a gas combustibile della cassa d'anima e che l'addetto verifichi che la temperatura alla quale viene portata la cassa d'anima sia corretta, infatti se la temperatura sale troppo aumentano le emissioni di fumi, gas e vapori (oltre ad ottenere un prodotto di qualità scadente).

Qualora la macchina preveda il caricamento dall'alto della cassa d'anima (in genere con l'ausilio di un paranco) l'aspirazione localizzata può essere realizzata tramite due semi-cappe mobili scorrevoli (Foto 4.2.2). In tal caso deve essere vietato l'avvio della macchina senza prima aver richiuso le cappe, pertanto è consigliabile l'installazione di un sistema di chiusura automatica e/o un dispositivo che impedisca l'avvio della macchina se le semi-cappe non sono chiuse.

#### 4.2.1.12 Sostituzione di solventi di origine petrolifere nei processi Cold box

Al posto dei solventi di origine petrolifera (idrocarburi aromatici altobollenti) fino ad ora preferiti, possono essere utilizzati per resine ed attivatori, solventi a base vegetale (metilestere di oli vegetali), con l'effetto di una riduzione di emissioni di benzene, toluene e xilene tra il 25 e il 50 % al momento della colata, cioè quando le anime vengono a contatto con la lega metallica allo stato fuso; inoltre l'utilizzo di questi solventi di origine vegetale permette l'ottenimento di anime praticamente prive di odore dopo la fuoriuscita dell'ammina residua e la riduzione del consumo di ammina durante l'operazione di gassaggio.

#### 4.2.1.13 Sostituzione di prodotti pericolosi e altri accorgimenti per processi Hot box

Sostituzione dei prodotti più pericolosi da miscelare (75% silice in diverse granulometrie + 25% silicato di zirconio), con prodotti meno pericolosi già miscelati (75% allumina + 25% di silice); ciò consente di eliminare il silicato di zirconio, ridurre la quantità di silice ed evitare la necessità di dosare i componenti. Ove non si usano sistemi pneumatici chiusi, per svuotare i sacchi è buona tecnica usare *box* chiusi (Foto 4.2.1) dotati di aspirazione per l'apertura dei sacchi, collegato ad un sistema pneumatico per il trasporto del prodotto verso il mescolatore.



Foto 4.2.1 Sistema chiuso per la apertura manuale dei sacchi di materiale in polvere dotato di aspirazione e trasporto pneumatico.

#### 4.2.1.14 Sostituzione delle vernici ad alcool con vernici ad acqua per le forme ed anime

Le superfici delle forme e delle anime sono verniciate in modo da creare una barriera di refrattario nella superficie di contatto fra metallo e forma e per assicurare una buona apparenza della superficie. Le vernici servono anche a ridurre l'erosione e difetti di penetrazione del metallo e agevolano le operazioni di finitura.

Le vernici a alcool sono basate, in gran parte, su isopropanolo, vengono fissate alle forme dall'evaporazione o bruciatura del solvente producendo così emissioni COV.

Le vernici ad acqua sono state sviluppate come alternativa ad hanno le seguenti caratteristiche:

- sicurezza in quanto non sono infiammabili;
- minore esposizione a vapori organici con conseguente miglioramento della salute dei lavoratori e dispersione nell'ambiente;
- minor costo dei reagenti rispetto alle vernici ad alcool;

Nel contempo le difficoltà per l'implementazione di tali vernici sono:

necessità di maggior tempo e spazio per il processo, perché richiedono un tempo più lungo per l'essiccazione, che si riduce passando attraverso un forno di essiccazione.

- Possono essere essiccate all'aria oppure utilizzando un forno d'essiccazione o a microonde o ad infrarossi.. Normalmente richiedono un tempo d'essiccazione più lungo rispetto a quelle ad alcool ma durante l'essiccazione non generano emissioni nocive e dunque consentono di evitare impianti di cattura dei gas esausti. L'essiccazione delle anime viene fatta con una linea che trasporta le anime dalla macchina spara anime (Foto 4.2.1) fino formatrice, consentendo l'essiccazione nel frattempo, e successivamente passando attraverso un forno d'essiccazione che può essere a microonde o infrarossi solo per piccole serie.

#### 4.2.1.15 Sostituzione di solventi aromatici con solventi non aromatici

I sistemi Cold-box utilizzano normalmente solventi organici che determinano rilasci di fumi nocivi e COV nella produzione di anime e nell'immagazzinamento. Si hanno inoltre emissioni di COV (benzene, toluene e xylene) durante colata, raffreddamento e distaffatura. Solventi alternativi, per la



produzione di anime a cold-box, sono a base di proteine o grassi animali (ad esempio oli vegetali o metilestere) o a base di esteri di silicati; questi solventi non essendo nocivi per la salute dei lavoratori e per l'ambiente, non essendo infiammabili sono di facile trasporto e immagazzinamento. L'alta polarità di esteri di oli vegetali aumenta le capacità di stoccaggio in atmosfera umida e la persistenza quando si applicano vernici ad acqua.

I solventi non aromatici aumentano la reattività dell'ammina determinando una riduzione dei consumi e quindi dei tempi di contatto, le anime risultanti hanno una resistenza più elevata, minori adesioni di sabbia e hanno buone proprietà di distaffatura.

L'assenza di vaporizzazione dovuta all'alto punto di ebollizione (circa 300°) determina un'assenza di emissioni durante l'immagazzinamento, ridotte emissioni COV durante la costruzione delle anime ed il loro stoccaggio e, fatto più importante, durante la colata il raffreddamento e la distaffatura.

I solventi a base vegetale aumentano la produzione di fumo durante la colata a causa della bassa evaporazione e di conseguenza l'elevato contenuto residuo di solvente; questo effetto non si manifesta utilizzando solventi con esteri silicati. I solventi non-aromatici possono essere utilizzati in tutti i processi che utilizzano cold-box. Questa tecnica è stata implementata nelle fonderie per l'intero spettro di colate automatizzate.

#### 4.2.2 Migliori tecnologie di depurazione

Il sistema filtrante a maniche può essere dotato di un convertitore di frequenza (inverter) che consente un notevole risparmio energetico, come visto per la fase precedente.

Nelle pompe e nei ventilatori, la portata è direttamente proporzionale alla velocità di rotazione. Ad esempio riducendo la velocità di rotazione del motore del 30% la portata della pompa o del ventilatore di conseguenza si riduce anch'essa del 30%, ma - secondo una azienda costruttrice di questo tipo di impianti - il consumo di energia si riduce di circa il 65%; la stessa azienda costruttrice riferisce l'esempio seguente.

[Consideriamo un sistema di regolazione meccanico nel quale il ventilatore sia utilizzato su un impianto di aspirazione la cui portata è regolata tramite valvole a serranda; supponendo che il ventilatore sia di potenza nominale pari a 30 KW e sia utilizzato per un tempo medio giornaliero di 8 ore e per un periodo di 350 giorni all'anno, con funzionamento medio giornaliero di 4 ore alla portata nominale, 2 ore a metà della portata e 2 ore ad un quarto della portata, nel caso in cui il ventilatore sia alimentato direttamente da rete, il consumo elettrico previsto per un anno è pari a  $(30 \text{ KW} \times 8 \text{ ore} \times 350 \text{ giorni}) = 84.000 \text{ KWh}$ , equivalente a Euro 10.416,00 (ipotizzando un costo di 0,124 Euro/KWh).

Considerando invece un sistema di regolazione automatico ad inverter, tenendo presente che:

- per il funzionamento a metà portata il motore gira al 50% della velocità nominale (e quindi la frequenza di uscita dell'inverter sarà dimezzata), la potenza richiesta dal motore per lavorare al 50% della velocità è pari ad 1/8 della potenza nominale, quindi a solo 3,75 KW;
- per il funzionamento ad un quarto della portata il motore gira al 25% della velocità nominale e in questa condizione la potenza assorbita dal motore è pari a solo 1/64 della potenza nominale, quindi a solo circa 0,5 KW;

si ottiene, nelle stesse condizioni di funzionamento medio giornaliero, un consumo elettrico annuale pari a  $((30 \text{ KW} \times 4 \text{ ore}) + (3,75 \text{ KW} \times 2 \text{ ore}) + (0,5 \text{ KW} \times 2 \text{ ore})) \times 350 \text{ giorni} = 44.975 \text{ KWh}$ , equivalente a Euro 5.576,90 ipotizzando un costo di 0,124 Euro/KWh.

In definitiva, il confronto tra il sistema meccanico e il sistema automatico con inverter, nelle suddette condizioni di funzionamento medio giornaliero, consente un risparmio annuale di 39.025 KWh (equivalente a Euro 4.839,00 ipotizzando un costo di 0,124 Euro/KWh) corrispondente ad un risparmio di circa il 46,5 %.]

## 4.3 Fusione del metallo e trattamento del metallo fuso

### 4.3.1 Migliori tecnologie di processo

#### 4.3.1.1 Preriscaldamento del rottame

Allo scopo di eliminare l'eventuale umidità residua che porterebbe ai problemi durante la fusione quali fenomeni esplosivi dovuti alla formazione di "bolle" dovute alla repentina evaporazione. Talvolta prima di essere introdotto nel forno fusorio, il rottame viene sottoposto ad un trattamento di preriscaldamento attraverso un apposito forno, Tale tecnica comporta un maggior consumo di energia.

#### 4.3.1.2 Forno a cubilotto

#### 4.3.1.3 Ottimizzazione delle operazioni del forno

La quantità di polveri e gas esausti risultanti è direttamente collegata all'ammontare di carbone (coke metallurgico) per tonnellata di metallo, comunque ogni misura adottata per incrementare le prestazioni termiche del forno ha anche l'effetto di ridurre le emissioni.

Gli interventi di ottimizzazione consistono nel:

- far lavorare il forno al suo regime ottimale il più a lungo possibile.
- evitare eccessi di temperatura della miscela di fusione e ridurre le temperature di surriscaldamento intervenendo correttamente nella spillatura.
- durante il carico cercare di avere una distribuzione uniforme di metallo e carbone.
- incrementare il controllo del peso di carico, del flusso del vento di fusione e della temperatura del metallo.
- minimizzazione della dispersione dell'aria, il corretto afflusso di aria è essenziale per l'efficienza del forno è dunque fondamentale prevenire ogni dispersione.
- eliminare l'accumulo ad arco di materiale parzialmente fuso, che ostruendo gli ugelli del forno impedisce la discesa della carica e può determinare l'arresto del processo di fusione.
- limitare l'erosione del refrattario durante la fusione e reintegrare, dopo ogni fusione, il refrattario eroso precedentemente.
- Il vento caldo può essere ottenuto dai gas provenienti dalla marcia del cubilotto stesso che vengono recuperati e, attraverso impianti di depolverizzazione, vengono nuovamente immessi nella zona di fusione del forno tramite gli ugelli della camera del vento oppure può avvenire con apparecchiature sussidiarie indipendenti dal cubilotto.

Il cubilotto a vento caldo migliora il rendimento termico e permette notevoli capacità orarie di produzione.

#### 4.3.1.4 Uso del forno elettrico di mantenimento

In alcune fonderie in cui non si può evitare una fluttuazione della domanda, viene installato un forno elettrico ausiliario in modo da avere sempre una riserva di metallo che consenta comunque il funzionamento del forno con continuità ed efficienza nonostante le variazioni di domanda.

#### 4.3.1.5 Miglioramento della qualità del coke

Le caratteristiche del carbon coke che possono influenzare negativamente l'efficienza della combustione nel forno a cubilotto sono:

- alto contenuto di cenere, che abbassa il contenuto calorifico del coke e genera una maggiore produzione di scorie;
- alto contenuto di sostanze volatili che riduce il carbonio fissato e diminuisce il potere calorifico;

- contenuto di zolfo, influenza le emissioni di anidride solforosa e può peggiorare la qualità del prodotto;
- dimensioni del coke, può influire sul rendimento del forno.

#### 4.3.1.6 Forno elettrico ad induzione

##### 4.3.1.7 Ottimizzazione del materiale e delle operazioni di carico

- Evitare l'immissione di ruggine e sporco immettendo rottame di dimensione e densità ottimali; in tal modo si riduce il tempo di fusione e dunque il consumo di energia e/o l'ammontare di scorie.
- Ridurre l'ossidazione eliminando perdite nei sistemi di chiusura per evitare ingressi indesiderati di aria e dispersione di calore
- Operare al massimo livello di potenza in ingresso riducendo così l'avvio a freddo della fusione, ottimizzando il programma di produzione consentendo monitoraggio e controllo computerizzato.
- Ottimizzare l'alta temperatura di fusione per la rimozione delle scorie. La formazione di scorie ad un punto di fusione basso può essere ridotta portando il forno a temperature più elevate, questo però causa un più alto consumo energetico.
- Evitare temperature eccessive e surriscaldamenti, è importante che il metallo raggiunga la temperatura richiesta esattamente nel momento in cui il reparto colata è pronto a riceverlo, è importante una buona cooperazione fra i reparti fusione e colata in modo da poter ridurre l'utilizzo di energia elettrica.

-

##### 4.3.1.8 Forni alimentati a frequenza variabile

Anziché il funzionamento con frequenza di rete a 50 Hz, sono stati introdotti forni che lavorano a frequenza variabile, 180-300 Hz, con controllo automatico per adattare la potenza a seconda dello stato della ghisa in fusione. Questo consente il raggiungimento della temperatura di fusione in tempi più rapidi e si raggiunge un minore consumo energetico per tonnellata di ghisa fusa.

Può essere opportuno utilizzare forni elettrici a frequenza variabile (180-300 Hz) per la fusione di ghisa, per ottenere un risparmio energetico, che secondo stime di un'azienda del comparto, può raggiungere i 40 Kw/t rispetto ai forni a frequenza di rete. Ciò è dato dal fatto che sono sufficienti forni più piccoli e quindi con minore quantità di rivestimento refrattario interno. Tuttavia l'impiego di forni a frequenza variabile può creare maggiori problemi di esposizione degli addetti ai campi magnetici a bassa frequenza.

Si possono anche utilizzare forni elettrici a induzione a frequenza di rete (50 Hz), mantenendoli accesi 24 ore su 24 e svuotandoli solo fino al 75% della loro capacità; effettuando la fusione nelle ore notturne allo scopo di risparmiare energia elettrica, mentre nelle ore diurne avviene il mantenimento della ghisa fusa. Questo consente un minore consumo energetico per ora di accensione del forno, che però viene mantenuto sempre acceso, a differenza di quanto avviene con l'utilizzo di forni a frequenza variabile che vengono spenti alla fine della giornata lavorativa. Dato che i forni necessitano di essere sempre presidiati, sia per esigenze produttive che di sicurezza, il fatto di tenerli accesi 24 ore su 24, comporta l'esigenza di lavoro notturno con le relative problematiche.

##### 4.3.1.9 Minimizzazione e controllo del rivestimento refrattario delle pareti

Nei forni ad induzione il rivestimento di refrattario ed il crogiolo sono sottoposti ad usura dovuta all'azione del metallo sulle pareti del forno, questo è dovuto in larga parte all'effetto mescolamento dovuto al campo elettromagnetico del forno ad induzione. La vita del rivestimento di refrattario è determinata da vari fattori, i più importanti dei quali sono la scelta dei materiali in funzione della

composizione chimica (acida o basica) delle scorie, la temperatura a cui si opera e alla cura posta nell'operazione di rivestimento.

In teoria il refrattario dovrebbe essere uniforme, in pratica questo però non avviene mai ed i maggiori punti di usura si hanno in corrispondenza della congiunzione fra muri e pavimento del forno, dove entrano in contatto metallo e scorie e nei punti dove il refrattario è più sottile a causa di una non corretta procedura di rivestimento. L'ispezione visiva è molto utile ma non sempre effettuabile, deve essere compiuta a forno vuoto e non sempre è in grado di rilevare potenziali problemi di rivestimento è quindi fondamentale un programma di monitoraggio del rivestimento.

Una misura diretta del diametro interno del forno fornisce ottime informazioni sullo stato del refrattario, così come determinare la frequenza con la quale il refrattario si corrode può consentire la programmazione d'interventi di manutenzione dello strato di refrattario prima che questo si corroda. Esistono alcuni strumenti per la lettura di temperatura localizzata, un termometro a contatto magnetico da attaccare alla parete metallica del forno che indica lo spessore di refrattario indicando la posizione del punto caldo oppure attraverso un termometro ad infrarossi.

L'accumularsi o il repentino verificarsi di shock fisici e stress meccanici può portare alla rottura del materiale refrattario così come il carico di un forno vuoto effettuato "gettando" materiale voluminoso; questo a causa della fragilità e debolezza di molti materiali utilizzati come refrattario. I pericoli di fuoriuscita di materiale fuso e/o di esplosioni dovuta al contatto di acqua con metallo può essere dato da rotture non rilevate nello strato di refrattario. Per questo sono implementati sistemi di carico automatizzati, con controllo remoto in modo che il refrattario non venga danneggiato durante il carico.

#### **4.3.1.10 Forni rotativi**

##### **4.3.1.11 Miglioramento dell'efficienza termica**

Tutte le tecniche che portano ad un incremento dell'efficienza termica del forno determinano anche una minore emissione di CO<sub>2</sub>; un miglioramento è stato ottenuto mediante l'utilizzo di ossigeno anziché di aria come comburente, comunque un ulteriore incremento d'efficienza è ottenibile attraverso il controllo di regime del bruciatore.

##### **4.3.1.12 Scelta dei carburanti**

Uno dei fattori che incide di più sulla quantità di polveri emesse da un forno rotativo è la "pulizia" del rottame, così come l'utilizzo di carburanti quali il gas naturale e propano non provocano altre emissioni inquinanti oltre a quella di CO<sub>2</sub> così come per ogni combustione. Dipendentemente dal loro contenuto di zolfo (S) e azoto (N) il carburante o gli oli pesanti possono determinare un incremento di emissioni di ossidi di azoto e zolfo NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>.

##### **4.3.1.13 Uso di oxyburner (comburente ossigeno)**

L'utilizzo di ossigeno puro al posto dell'aria, come comburente, determina un aumento delle temperature di fiamma utilizzata per la fusione determinando un trasferimento di calore più efficiente verso il metallo e riducendo quindi l'ammontare di energia utilizzata. La formazione di ossidi di azoto che si possono formare dall'ossidazione con l'azoto atmosferico, può essere eliminata chiudendo a tenuta il contenitore che porta il "vento di fusione" al forno inoltre il totale dei flussi gassosi di scarico provenienti da un oxyburner è minore grazie all'assenza di composti d'azoto permettendo l'installazione di un impianto di depolverazione (abbattitore di polveri) più piccolo, con conseguente risparmio.

L'utilizzo di tale tecnica riduce il consumo di energia e le emissioni di ossidi di azoto e anidride carbonica. grazie a più alte temperature di combustione

In Tabella 1 sono riportati i consumi teorici di carburanti e di ossigeno per tonnellata di prodotto fuso, relativi alla fusione di ghisa utilizzando ossigeno come comburente e gas come combustibile del forno (oxygas) e riportato per forni di varie capacità.

Tabella 1 Consumi di energia

Combustibile	Capacità del forno (tonnellate)				
	3	5	8	12	20
Olio combustibile leggero kg/ton	33 - 38	33 - 38	33 - 38	32 - 37	32 - 37
Gas naturale Nm <sup>3</sup> /ton	38 - 43	38 - 43	38 - 43	38 - 42	38 - 42
Propano Nm <sup>3</sup> /ton	15 - 17	15 - 17	15 - 17	14 - 16	14 - 16
Ossigeno Nm <sup>3</sup> /ton	130 - 150	130 - 150	130 - 150	130 - 145	130 - 145

Un afterburner postbruciatore può portare ad un incremento di efficienza di abbattimento fra l'80% ed il 98% di particolato emesso da un forno rotativo, inoltre i gas ad alta temperatura provenienti dall'afterburner possono essere utilizzati per contribuire al preriscaldamento dell'aria di fusione. Gli economizzatori determinano un risparmio energetico del 15% mentre l'utilizzo in combinazione ad ossigeno arricchito può portare tale risparmio fino al 30%; senza contare che le più alte temperature di combustione concorrono alla riduzione globale delle emissioni, si riducono i volumi di gas esausti. In generale, l'utilizzo congiunto di tali tecniche può portare ad un risparmio energetico del 50% e ad una riduzione dei gas esausti fino al 72% ripercuotendosi inoltre in una riduzione delle emissioni di rumore, in una installazioni in Germania è stata quantificata in 15-18 dB(A) nelle vicinanze del forno fino a 48 dB(A) con un risparmio energetico pari al 53%

Se da un lato tale tecnica richiede la produzione all'esterno di ossigeno con relativo consumo d'energia, dall'altro è applicabile ad ogni tipo di forno rotativo e ad un costo d'installazione basso che si aggira fra i 3400 e i 4500€ con costi operativi variabili .

## 4.3.2 Migliori tecnologie di depurazione

### 4.3.2.1 Utilizzo di cicloni con filtri a maniche per i forni elettrici



Foto 4.3.1 Impianto abbattimento a secco (maniche) per emissioni provenienti dai forni fusori.

Per abbattere le emissioni convogliate derivanti dall'impianto di aspirazione dei forni elettrici sono in genere utilizzati impianti a secco con filtri a maniche preceduti da ventilatori per il raffreddamento dei forni. Nei filtri a maniche il particolato è captato filtrando il flusso gassoso attraverso le maglie di un sacco di tela, con un'alta efficienza di captazione associata a bassi costi di installazione. Poiché la resa massima dei filtri a maniche si ottiene per basse concentrazioni di polveri, talvolta viene installato un ciclone a monte, il quale permette di separare le particelle solide e liquide dalla corrente gassosa attraverso un moto centrifugo. I cicloni sono di facile manutenzione e di costo impiantistico relativamente contenuto.

I filtri elettrostatici sono molto efficienti e adatti a condizioni di impiego gravose ma presentano alti costi impiantistici e di gestione.

### 4.3.2.2 Impianto di abbattimento per due cubilotti utilizzati alternativamente

A titolo di esempio riportiamo la descrizione di un nuovo impianto di abbattimento a secco per le

emissioni di due *cubilotti* (utilizzati in genere alternativamente tra loro): al di sopra di entrambi i *cubilotti* è installato un camino alla sommità del quale è montato un cappello avente la funzione di portello antiscoppio. In condizioni di normale esercizio, mentre i cappelli dei *cubilotti* sono chiusi, i fumi sono prelevati e convogliati al collettore principale dell'impianto di depolverazione. Il passaggio attraverso le tubazioni consente ai fumi di disperdere progressivamente il loro calore sino all'ingresso del vero e proprio scambiatore di calore. Quest'ultimo riduce la temperatura dei fumi da 700 °C a 150 °C tramite una struttura a tubi di fumo con aria di raffreddamento in equicorrente, la cui portata è pari a 30.000 m<sup>3</sup>/h. Esiste un sensore installato a valle dello scambiatore di calore che consente di mantenere costante la temperatura in uscita dei fumi controllando



Foto 4.3.1 Particolare dei ventilatori per il raffreddamento dei fumi delle emissioni dai forni

una serranda che regola il flusso d'aria di raffreddamento. Il sistema di controllo della temperatura in ingresso al filtro prevede una serranda a comando pneumatico per l'immissione dell'aria falsa, al fine di salvaguardare le maniche da eventuali sovratemperature; infatti i fumi devono entrare nel filtro a circa 150-180°C. Questi valori di temperatura, insieme al tipo di tessuto utilizzato per le maniche, garantiscono un rendimento ottimale del processo depurativo.

La corrente gassosa, prima di entrare nel filtro a maniche, viene convogliata in un abbattitore a multiciclone per l'abbattimento delle particelle grossolane. Il filtro è costituito da 120 maniche in tessuto nomex teflonato (400 grammi/m<sup>2</sup>), con pulizia automatica mediante aria compressa. Questa soluzione impiantistica permette di rispettare il limite fissato dalla autorizzazione alle emissioni in atmosfera, pari a 25 mg/Nm<sup>3</sup> per le polveri emesse dal camino dell'impianto di abbattimento degli inquinanti.



Foto 4.3.2 Cabina – tunnel per la distaffatura delle staffe provenienti dalla linea di formatura automatica

## 4.4 Colata

### 4.4.1 Migliori tecnologie di processo

#### 4.4.1.1 Sistemi di aspirazione sulle linee di colata e siviere dotate di coperchi

Durante la colata si possono diffondere nell'ambiente, oltre agli inquinanti provenienti dalla lega metallica, anche diversi gas, fumi e vapori provenienti da forme e anime per effetto della elevata temperatura della lega metallica con la quale vengono a contatto (formaldeide, benzene, toluene, prodotti solforati, fenolo e prodotti autobollenti).

La natura degli inquinanti aeriformi che si possono sviluppare da forme e anime, dipende ovviamente dai componenti con cui sono state realizzate e dipende anche dalla natura dei distaccanti, collanti e sigillanti utilizzati per prepararle.

Pertanto è necessario che lungo tutta la linea di

*colata* sia installato un impianto di aspirazione localizzato, dimensionato in modo da garantire la completa captazione degli inquinanti.

Per ridurre le emissioni diffuse dovute alla ghisa fusa è anche opportuno che le siviere siano dotate di coperchio.



Foto 4.4.1 impianto di aspirazione su linea di colata in forme realizzate con impianto di formatura automatica a verde.

### 4.4.2 Migliori tecnologie di depurazione

#### 4.4.2.1 Misure anti inquinamento olfattivo

Contro l'inquinamento olfattivo una possibile soluzione consiste nell'adoptare impianti di post-combustione per bruciare i vapori contenenti le particelle odorose. Questo tipo di impianto è molto costoso in caso di elevate portate di aria, e talvolta può essere conveniente realizzare più impianti di abbattimento separati relativi ai vari punti di captazione. Un'altra soluzione consiste nell'innalzare il punto di rilascio in atmosfera tramite camini di altezza maggiore in modo che l'odore si diluisca più facilmente in atmosfera. Questa soluzione in negativo presenta un maggiore impatto paesaggistico. Un'altra soluzione consiste nella sostituzione delle resine.

#### 4.4.2.2 Griglie vibranti per la distaffatura e postazioni cabinate per la disterratura

Per ridurre le emissioni diffuse di polveri è necessario:

- dimensionare adeguatamente le *griglie vibranti* in relazione alla dimensione delle *staffe* utilizzate, allo scopo di evitare la caduta di *terra* sul pavimento, e segregare gli impianti di *distaffatura* tramite cabina posta sotto aspirazione e impedire l'avvio della macchina quando le porte della cabina sono aperte, ad esempio mediante un dispositivo di blocco
- prevedere postazioni di lavoro cabinate e insonorizzate per la *disterratura* con martellino pneumatico, dotate di aspirazione e pulite frequentemente; in caso di *getti* di grandi dimensioni, dove non sia prevista una postazione di lavoro cabinata, si può realizzare una aspirazione localizzata tramite cappe mobili;

#### 4.4.2.3 Cabina tunnel per distaffatura

Per ridurre le emissioni diffuse provenienti dalle *forme* poste a raffreddare è necessaria l'installazione di un impianto di aspirazione localizzato. Anche per ridurre emissioni diffuse dei



fumi di combustione del cannello ossiacetilenico sono necessari impianti di aspirazione localizzata, fissi o portatili.

All'impianto di *distaffatura* delle *staffe* provenienti dalla linea di formatura automatica, per eliminare l'esposizione a fumi, gas e vapori, ma anche polveri, rumore e movimentazione manuale dei carichi, in alcune fonderie è stata adottata la seguente soluzione globale: segregazione di tutto l'impianto tramite un sistema cabina-tunnel insonorizzato con materiale fonoisolante – fonoassorbente e posto in depressione grazie ad un sistema di aspirazione delle polveri, gas e fumi prodotti;



il tunnel racchiude un sistema automatico di trasferimento dei pezzi estratti dalle *staffe*, i quali vengono trasferiti dalla *griglia vibrante* ai cassoni mediante un elettromagnete mobile. L'effetto positivo della soluzione è molteplice:

- elimina la dispersione degli inquinanti nell'ambiente di lavoro ed all'esterno, per la chiusura e aspirazione sull'impianto durante la fase di estrazione del *getto* dalla *staffa*.
- elimina l'esposizione dell'addetto alla estrazione dei pezzi, in quanto tale mansione viene a scomparire,

per l'automazione del trasferimento dei pezzi.

Foto 4.4.1 Griglia vibrante distaffatrice per staffe grandi, segregata tramite cabina insonorizzata.

## 4.5 FINITURA

### 4.5.1 Migliori tecnologie di processo

#### 4.5.1.1 Rivestimento cassoni con materiali elastici e impianti di sbavatura chiusi ed automatici

Per la riduzione del rumore dovuto all'impatto dei pezzi sbavati che sono lasciati cadere dagli addetti nei cassoni di raccolta è possibile rivestire i cassoni stessi con materiali elastici smorzanti (gomma o lamiera forata stirata), al fine di evitare che l'urto del pezzo sul cassone lo faccia risuonare. Il rivestimento interno va sistemato in modo che rimanga sufficientemente distanziato dalla parete esterna di lamiera spessa del cassone. Quest'ultima può essere rinforzata con opportuni profilati angolari in modo da ridurre la vibrazione, anch'essa causa di rumore. È necessaria la periodica sostituzione del rivestimento interno che tende a rompersi dopo numerosi urti. La soluzione si è rivelata utile in quanto ha comportato una riduzione del livello equivalente di esposizione a rumore (Leq) da 94 a 90 dB(A), a costi contenuti. Un'ottima soluzione per ridurre notevolmente il rumore (e anche alle vibrazioni, polveri, schegge ed il rischio di infortuni per contatto con gli organi lavoratori degli utensili manuali) consiste nell'utilizzare macchine sbavatrici automatiche completamente chiuse, poste in ambienti separati. Non tutti i *getti* possono essere sbavati con questa macchina in quanto talvolta è difficile se non impossibile rendere compatibili gli spazi di lavoro della macchina con gli ingombri dei *getti*. In genere viene utilizzata per *getti* di medie dimensioni.

Qualora le misure sopra elencate per ridurre il rumore alla fonte non risultassero sufficienti ad evitare disturbo alla popolazione, devono essere adottate misure aggiuntive quali ad esempio l'installazione di pannellature in materiale fonoassorbente e/o lo spostamento del reparto rumoroso in una zona dello stabilimento lontana dalle abitazioni, allo scopo di ridurre il rumore entro i limiti stabiliti dalla Legge per la classificazione della zona ove è insediata l'azienda.

### 4.5.2 Migliori tecnologie di depurazione

#### 4.5.2.1 Granigliatura in macchine chiuse e uso di spazzatrici industriali

Per ridurre le emissioni diffuse le macchine che svolgono l'operazione di granigliatura devono essere chiuse ermeticamente e poste in depressione con sistema di aspirazione / abbattimento delle polveri, il sistema di recupero polveri deve essere mantenuto sempre efficiente; le aree dove è collocata la rastrelliera sopraelevata da terra in cui vengono disposti i *getti* per la granigliatura, devono essere delimitate in modo che eventuali residui di polvere di sabbiatura che cadano sul pavimento non possano distribuirsi nelle zone di transito. Per la pulizia è opportuno evitare l'utilizzo di scope che darebbe luogo alla diffusione di polveri, utilizzare invece aspirapolveri e/o spazzatrici industriali. Gli addetti devono essere adeguatamente formati e informati.