

Per le acciaierie ad ossigeno e le colate continue i principali aspetti ambientalmente rilevanti riguardano:

- il trattamento ed il recupero del gas di acciaieria;
- la captazione e abbattimento delle emissioni secondarie.

A) Aspetti tecnici, tecnologici ed ambientali (consumi, emissioni, rifiuti)

La tecnologia più diffusa per il trattamento della ghisa fusa è la tecnica BOS (Basic Oxygen Steelmaking), un processo di affinazione in convertitori ad ossigeno che comprende le seguenti fasi:

1. *trasferimento e pretrattamento della ghisa fusa (desolforazione);*
2. *affinazione della ghisa;*
3. *trattamento metallurgico secondario dell'acciaio;*
4. *colaggio acciaio.*

Per ciascuna delle suddette fasi vengono di seguito descritte le attività svolte e le principali componenti di natura ambientale su cui applicare le B.A.T. ai fini della prevenzione integrata dall'inquinamento.

1. Trasferimento e pretrattamento della ghisa fusa (desolforazione)

La ghisa fusa prodotta dagli altoforni viene trasferita in acciaieria a mezzo di carri siluro movimentati con locomotori ferroviari (4.2.3. punto 4).

In acciaieria, il versamento della ghisa dai carri siluro viene effettuato posizionando una siviera ghisa in zona sottostante al carro ed effettuando una rotazione di quest'ultimo attorno all'asse longitudinale.

La ghisa, in arrivo dall'altoforno, può contenere delle impurezze la cui presenza è controindicata per la produzione di acciai dai requisiti qualitativi particolarmente severi. Pertanto, prima del caricamento nel convertitore ad ossigeno, possono rendersi necessari degli opportuni pretrattamenti, come la desolforazione, la defosforazione, la desilicizzazione; di questi il più diffuso è la desolforazione, effettuata per regolare nella ghisa il contenuto in zolfo.

La desolforazione avviene mediante l'iniezione nel bagno di ghisa fusa di agenti desolforanti (carburo di calcio, soda, calce, ecc...) che sono essenzialmente dei composti basici ai quali lo zolfo si lega, trasferendosi dalla ghisa nella scoria.

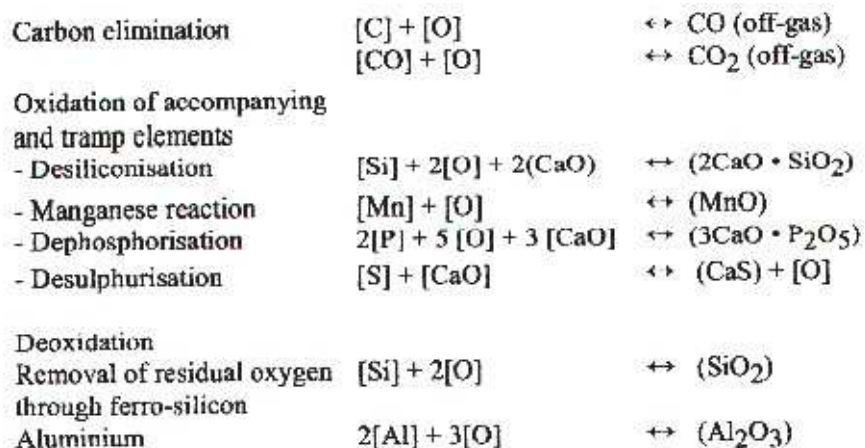
La scoria si stratifica sul bagno di ghisa fusa per effetto del minor peso specifico e deve essere eliminata per evitare il ritorno dello zolfo durante l'operazione di affinazione. L'operazione di "scorifica" viene effettuata in apposita postazione mediante l'ausilio di un raspo.

Dopo la raspatura la siviera di ghisa fusa viene inviata al convertitore per la fase di carica.

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano, in normali condizioni, durante il processo di desolforazione e le successive fasi di separazione e pesatura delle scorie, sono emissioni di particolato, presenti fino a 10.000 mg/Nm³.

2. Affinazione della ghisa.

L'affinazione della ghisa avviene nel convertitore, dove per azione dell'ossigeno si ha l'ossidazione del carbonio (approssimativamente dal 4% a meno dell'1%) e di altri composti indesiderati che si trasferiscono nella scoria. Le principali reazioni che hanno luogo durante il processo di affinazione sono le seguenti:



Notes: [] solute in the iron
() contained in the slag

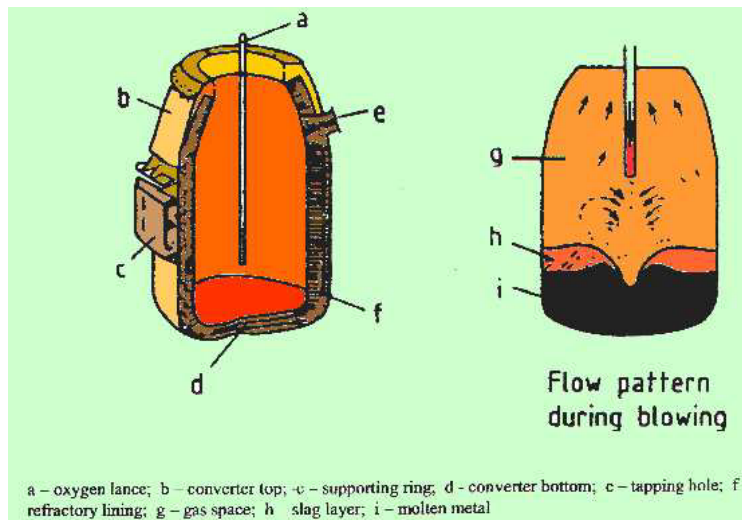
La reazione del carbonio (decarburazione) è quella di maggiore importanza; essa avviene con sviluppo di gas (principalmente monossido di carbonio), che determina agitazione del metallo e rimescolamento della scoria. Il contenuto di ossigeno nel corso dell'affinazione è in larga misura controllato da questa reazione, che indirettamente influisce così su altre reazioni e sui parametri di processo dipendenti dallo stato di ossidazione. La durata dell'affinazione dipende quindi dal tempo necessario alla riduzione del tenore di carbonio da un determinato livello iniziale al livello finale desiderato.

I processi di affinazione ad ossigeno impiegano una carica composta per il 70 ÷ 90 % di ghisa liquida e il rimanente da rottame di ferro e materiale ferrifero. Essi consentono anche di arrestare la decarburazione a livelli medi ed elevati di carbonio, e quindi la produzione di acciai duri e semiduri.

I principali processi di conversione ad ossigeno sono il processo L.D. (Linz-Donawitz) ed il processo O.B.M. (Oxygen-Boden-Maxhuetten).

Il processo L.D. è realizzato in un convertitore a fondo chiuso, rivestito internamente di materiale refrattario, dove viene introdotta la carica (rottame e ghisa fusa) mantenendo il convertitore in posizione inclinata. Al termine della carica, il convertitore viene raddrizzato e con l'introduzione della lancia per il soffiaggio dell'ossigeno inizia il processo di affinazione; la lancia è mantenuta ad una certa altezza rispetto alla superficie del bagno metallico.

L'impatto dell'ossigeno con il bagno metallico fuso crea dopo pochi attimi l'innesco, ossia si forma una zona di reazione a temperatura estremamente elevata per l'ossidazione diretta del materiale. In tale zona avviene l'assorbimento dell'ossigeno soffiato, che si diffonde con grande rapidità in tutta la massa metallica per la forte turbolenza e circolazione di metallo, determinata dal getto di ossigeno, dallo sviluppo di gas per il procedere veloce della decarburazione e dal gradiente termico determinatosi all'interno del bagno metallico.



Soffiaggio in convertitore

Contemporaneamente all'ossidazione del carbonio e di altri composti (silicio, manganese, fosforo, ecc...), si formano anche delle scorie basiche fluide, dovute all'aggiunta di calce, immessa anch'essa dalla bocca del convertitore. A seconda dei tipi e della qualità degli acciai da produrre, la decarburazione può essere completa (scendendo così a tenori di carbonio dello 0,03 ÷ 0,08%) oppure parziale, se viene arrestata a un tenore di carbonio più elevato.

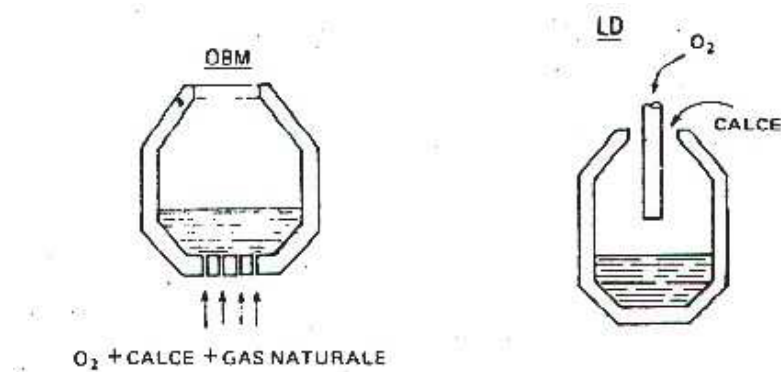
Terminata la fase di soffiaggio l'acciaio viene colato in siviera (spillaggio) procedendo alle aggiunte necessarie per il raggiungimento della composizione chimica richiesta.

La scoria, invece, versata in paiole movimentate con carri ferroviari, dopo lo svuotamento delle stesse è raffreddata con acqua ed avviata alla deferrizzazione: la separazione del materiale ferifero dall'inerte, ne consente il riciclo.



Spillaggio acciaio in siviera

A differenza del processo L.D., nel processo OBM, il soffiaggio del bagno fuso avviene invece dal basso, come di seguito schematizzato.



L'ossigeno, immesso direttamente all'interno del bagno e per una zona relativamente estesa attraverso numerose tubiere, riduce le condizioni di non omogeneità della composizione del bagno metallico e gli stati di non equilibrio tra bagno e scoria. Il soffiaggio dell'ossigeno provoca elevatissime temperature nella zona di contatto tra tubiera e bagno metallico determinando una rapida usura delle tubiere e del refrattario di fondo. A contrastare tale fenomeno viene soffiato anche un idrocarburo gassoso (metano), il quale a contatto con il bagno, si dissocia termicamente secondo la reazione:



assorbendo quindi una elevata quantità di calore e diminuendo le alte temperature provocate dalle reazioni dell'ossigeno nella zona di uscita dalla tubiera.

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano, in normali condizioni, durante le operazioni di carica e spillaggio del convertitore, sono emissioni di polveri; queste sono presenti in discreta quantità (15-20 kg/t LS), anche nel gas di acciaieria che si sviluppa durante il soffiaggio; quest'ultimo, contenendo una grande quantità di monossido di carbonio, può essere recuperato o combusto.

Durante il soffiaggio possono inoltre intervenire sporadicamente particolari perturbazioni nel processo che comportano effetti transitori con generazione anomala di fumi di ossidi di ferro, il cui volume istantaneo è di entità tale da non poter essere totalmente aspirato dai sistemi di aspirazione dei fumi primari e secondari.

Dal trattamento del gas di acciaieria per via umida derivano inoltre dei reflui contenenti prevalentemente solidi sospesi.

3. Trattamento metallurgico secondario dell'acciaio.

Il processo di ossidazione nel convertitore è generalmente seguito da post-trattamenti metallurgici che sono stati sviluppati per far fronte alle sempre maggiori richieste qualitative dell'acciaio prodotto. I principali obiettivi dei trattamenti metallurgici sono:

- miscelazione e omogeneità del bagno;
- aggiustamenti della composizione chimica
- aggiustamenti della temperatura;
- deossidazione;
- rimozione di gas indesiderabili;
- miglioramento della purezza attraverso la separazione delle inclusioni non metalliche

Uno dei principali step dei trattamenti metallurgici è il degasaggio (o trattamento sottovuoto) che permette la rimozione di composti gassosi inglobati nel bagno, come idrogeno, ossigeno, azoto, o composti del carbonio.

Sono stati sviluppati i seguenti sistemi degasaggio:

- Degasaggio in siviera;
- Degasaggio mediante ricircolazione dell'acciaio.

Degasaggio in siviera

Può essere realizzato introducendo la siviera, con l'acciaio in essa contenuto, in un contenitore collegato all'impianto del vuoto; oppure dotando la siviera stessa di un coperchio di tenuta collegato all'impianto del vuoto.

In questo modo la superficie dell'acciaio viene esposta all'azione del vuoto, azione che però si attenua rapidamente al di sotto della superficie; per questo motivo l'acciaio in siviera deve venire costantemente rimescolato in modo da portare il metallo che si trova in profondità in superficie e viceversa. Questa agitazione viene ottenuta mediante gorgogliamento di argon dal fondo della siviera (introducendolo mediante tappo poroso), oppure mediante azione elettromagnetica. L'acciaio deve essere adeguatamente surriscaldato per tener conto della caduta di temperatura durante il trattamento.

Degasaggio mediante ricircolazione dell'acciaio

Rispetto al degasaggio in siviera, che esercita la sua azione sull'intera colata, in questo processo viene esposta all'azione del vuoto, ripetutamente, solo una parte della colata d'acciaio.

Questo viene fatto ricircolare in un recipiente di trattamento sovrastante, nel quale si mantiene il vuoto. Il metallo passa dalla siviera al recipiente sotto vuoto attraverso una o due gambe tubolari di refrattario che stanno immerse nell'acciaio.

La porzione di acciaio degasato ritorna nella siviera mescolandosi con il resto della colata, che viene ad essere così progressivamente diluita.

Con questo sistema il degasaggio è favorito poiché con la limitata quantità di acciaio sottoposta di volta in volta al vuoto, si realizza un aumento della superficie esposta ed una diminuzione del percorso diffusoriale dei gas da eliminare. Il trattamento può essere discontinuo (DH) o continuo (RH) con possibilità di operare aggiunte e soffiare ossigeno allo scopo di effettuare decarburazioni molto spinte.

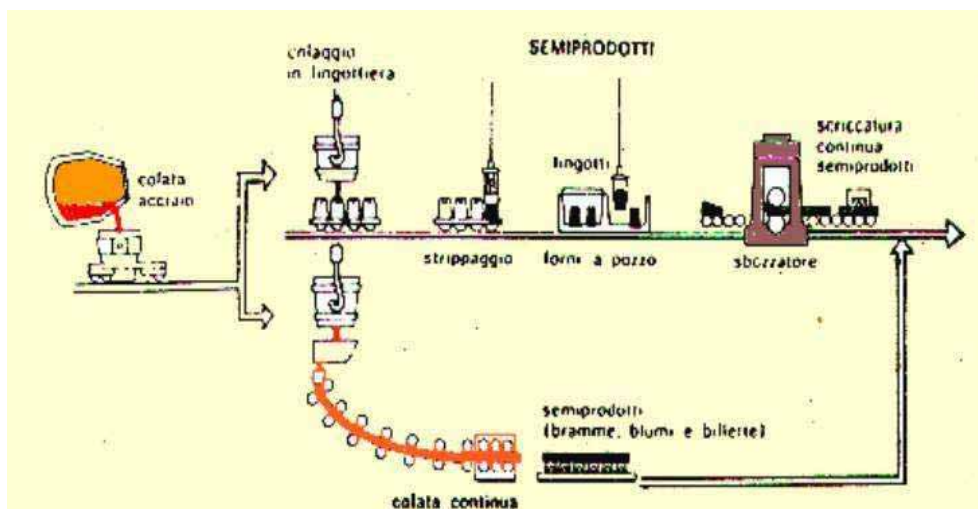
Su impianti significativi il vuoto viene realizzato per mezzo di eiezione con vapore e condensazione con acqua, di cui si ha un consumo significativo.

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano in normali condizioni durante tale fase di processo sono quelle che derivano dalle operazioni di trattamento dell'acciaio. Dai trattamenti sotto vuoto, che utilizzano vapore ed acqua per creare il vuoto, derivano inoltre dei reflui contenenti prevalentemente solidi sospesi.

4. Colaggio acciaio.

Una volta raggiunta la qualità desiderata, l'acciaio deve essere solidificato; il colaggio in lingotti, per molti anni, ha rappresentato un passaggio obbligato per la produzione di bramme, blumi, billette. Il lingotto, trascorso il tempo necessario alla solidificazione, veniva strappato, inviato ai forni a pozzo e riscaldato fino a raggiungere la temperatura idonea di laminazione allo sbozzatore.

Con l'introduzione della colata continua, l'acciaio liquido viene direttamente solidificato in bramme, blumi, billette senza l'ausilio di ulteriori passaggi intermedi, con evidenti vantaggi dal punto di vista del risparmio energetico, di riduzione delle emissioni, dell'utilizzo di acque, di aumento della produttività, di miglioramento delle rese di trasformazione, ecc...



Confronto cicli di produzione bramme da fossa e da colata continua

Il processo di colata continua è caratterizzato essenzialmente dal colaggio dell'acciaio dalla siviera in un recipiente rivestito in materiale refrattario (paniera), che ha il compito principale di mantenere un battente ferrostatico costante e consentire un deflusso regolare e controllabile dell'acciaio liquido alla sottostante lingottiera. La paniera garantisce la continuità del colaggio; nel caso di macchine a più linee disposte in parallelo, ha anche il compito di ripartire l'acciaio fra le diverse linee.



Colata continua: colaggio acciaio in paniera

La lingottiera è dotata di moto oscillatorio ed è raffreddata indirettamente con acqua; il raffreddamento assicura la veloce solidificazione dell'acciaio, nel breve tempo del suo attraversamento, in modo che la barra abbia formato un guscio solido esterno prima di abbandonarla.

Il moto oscillatorio, invece, impedisce che l'acciaio aderisca alle superfici, provocando incollamenti che dapprima ostacolerebbero l'avanzamento della barra e poi provocherebbero la rottura della pelle.

La lunghezza della lingottiera è studiata così da conciliare i seguenti principali fattori:

- deve essere sufficientemente lunga e realizzata in materiale idoneo per consentire il raffreddamento della bramma e permettere la formazione di una pelle di spessore tale da resistere alla pressione ferrostatica;
- evitare eccessivi attriti tra l'acciaio e la superficie della lingottiera.



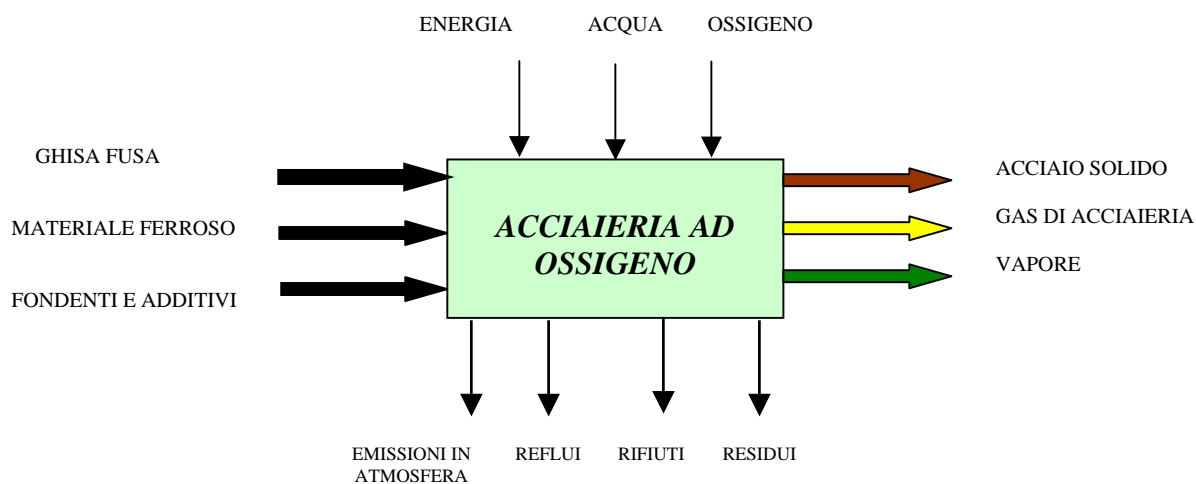
Macchina di colata continua

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano in normali condizioni durante tale fase di processo sono quelle di vapore che derivano dalle operazioni di raffreddamento della bramma, dei blumi, delle billette con acqua e che vengono evacuate in atmosfera.

Dal processo di raffreddamento dell'acciaio derivano inoltre reflui contenenti solidi sospesi ed oli.

Bilancio complessivo di materia ed energia

Lo schema di flusso di materia ed energia in ingresso ed in uscita dalla acciaieria ad ossigeno è sinteticamente di seguito rappresentato:

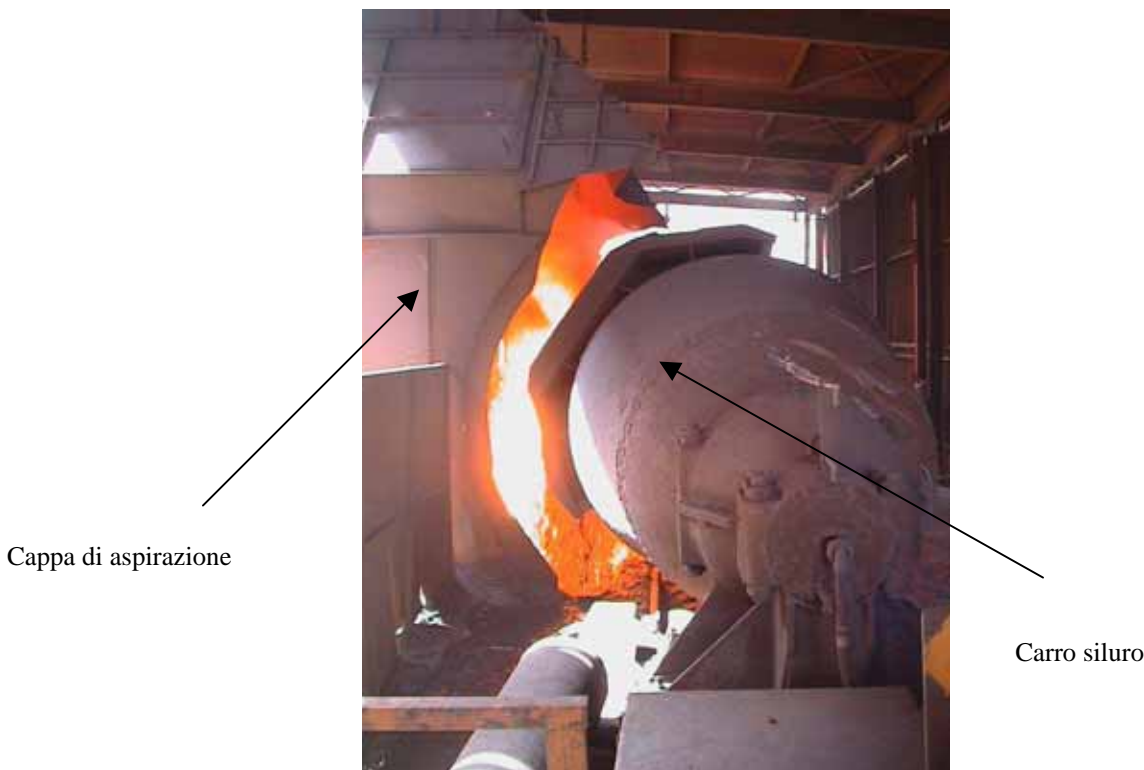


I principali residui solidi, determinati nel normale svolgimento del processo descritto, sono costituiti da scorie di acciaieria e da scorie derivanti dai trattamenti ghisa e acciaio, dalle scaglie e dai fanghi derivanti dai sistemi di trattamento dei reflui e da polveri derivanti dai sistemi di depolverazione a secco. In larga misura si tratta di residui che vengono recuperati sia in acciaieria che in agglomerato. Quanto non riciclabile, insieme ai rifiuti derivanti da attività di manutenzione, quali i refrattari non riciclabili, sono indirizzati allo smaltimento in discarica.

B) Migliori tecniche e tecnologie disponibili

1. Trasferimento e pretrattamento della ghisa fusa (desolforazione)

- Adozione di un sistema di captazione delle emissioni (secondarie) che si verificano
- nella fase di versamento della ghisa dal carro siluro alla siviera,
 - nella fase di trattamento della ghisa (desolforazione e scorifica),
- e conseguente depolverazione dei fumi captati mediante filtro a tessuto o elettrofiltro.



Captazione fumi nel versamento ghisa

Le prestazioni raggiungibili con questa tecnica, in condizioni normali, sono le seguenti:

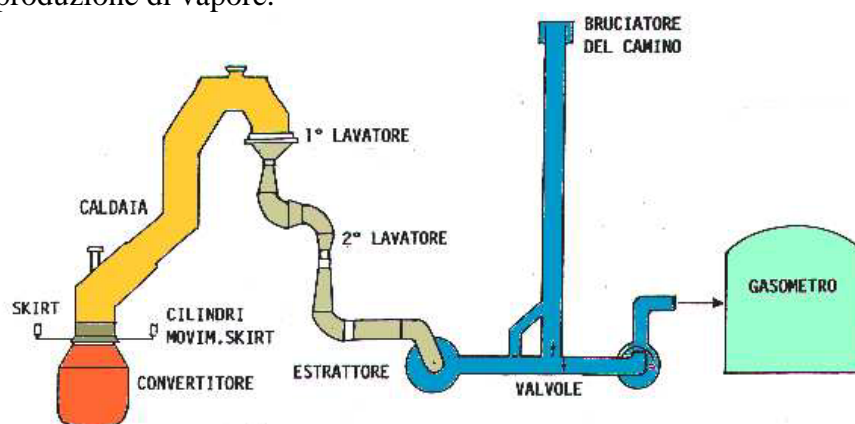
- concentrazione di polveri dopo abbattimento:
 - con filtro a tessuto: 5÷15 mg/Nmc
 - con elettrofiltro: 20÷30 mg/Nmc

Per il versamento della ghisa dal carro siluro alla siviera, una nuova tecnica, alternativa all'adozione dei sistemi di captazione e depolverazione, è quella di minimizzare la formazione dei fumi mediante l'uso di un gas inerte. Più precisamente, questa tecnica consiste nella vaporizzazione di biossido di carbonio (CO₂) nella siviera di raccolta, per creare un'atmosfera inerte e prevenire l'ossidazione della ghisa versata; ciò limita la formazione di fumi.

Tuttavia la vaporizzazione della CO₂ nell'ambiente di lavoro determina problemi per la sicurezza del personale (pericolo di asfissia), per cui l'eventuale adozione di tale sistema necessita di misure aggiuntive tese ad assicurare un'adeguata ventilazione degli ambienti di lavoro ed il loro monitoraggio.

2. Affinazione della ghisa

- Adozione di un sistema di aspirazione dei gas di acciaieria (gas BOF) che si sviluppano durante il processo di affinazione in convertitore ed applicazione di una delle seguenti tecniche per il recupero d'energia:
 - combustione soppressa con recupero del gas di acciaieria, depolverazione primaria, stoccaggio in gasometro e suo riutilizzo come combustibile. Nella combustione soppressa il recupero del gas è relativo alla parte centrale della fase di soffiaggio ossigeno in convertitore, quando più alta è la percentuale di ossido di carbonio nel gas. Il gas che si sviluppa durante la fase iniziale e la fase finale del processo di affinazione in convertitore, per la durata di pochi minuti, non viene recuperato ma combusto in torcia. Tale sistema consente anche il recupero del calore sensibile ceduto dal raffreddamento del gas ed il suo utilizzo per la produzione di vapore.



Schema del sistema a combustione soppressa con depurazione ad umido

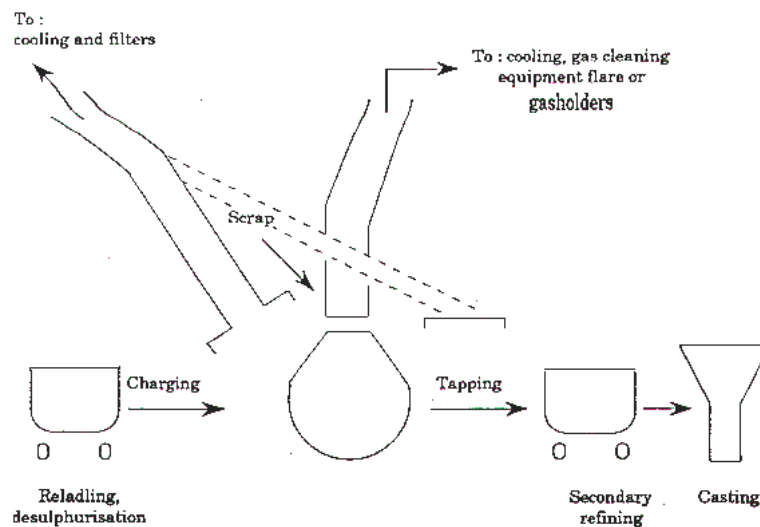
- Dopo la rimozione del particolato più grossolano in una zona di deviazione, la depolverazione viene generalmente eseguita con uno scrubber tipo Venturi o con i precipitatori elettrostatici.
- combustione del gas di acciaieria con relativa generazione di vapore. Tecnica adottata negli impianti esistenti, nei casi in cui non è fattibile il recupero e l'utilizzo del gas di acciaieria, o non vi è convenienza dal punto di vista energetico.

In questo caso la depolverazione del gas di acciaieria va effettuata dopo la combustione, prima dello scarico al camino; sono ancora utilizzati scrubber ad umido ed elettrofiltri a secco, questi ultimi nelle applicazioni più recenti.

In linea di principio, nel caso della combustione si hanno maggiori portate da trattare, per via dell'immissione dell'aria comburente; quindi, nel caso di adozione della combustione soppressa i sistemi di depolverazione sono dimensionati per un minor flusso volumetrico di gas da trattare.

- Chiusura del foro di ingresso della lancia ossigeno durante il soffiaggio o insufflaggio di gas inerte per limitare l'eventuale dispersione di gas e particolato.

- Adozione di un sistema di captazione delle emissioni (secondarie) durante le fasi di carica del convertitore e di spillaggio dell'acciaio e delle scorie dal BOF;



Schema captazione fumi al caricamento e spillaggio acciaio

conseguente depolverazione dei fumi captati mediante l'utilizzo di filtri a tessuto o elettrofiltri a secco, oppure con qualsiasi altra tecnica che abbia lo stesso livello di efficienza di abbattimento.

Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:

- concentrazione di polveri dopo abbattimento:
 - con filtro a tessuto : 5÷15 mg/Nmc
 - con elettrofiltro : 20÷30 mg/Nmc

Queste polveri normalmente contengono un alto contenuto di zinco.

- Minimizzazione delle acque di scarico del sistema di depolverazione ad umido del gas BOF mediante il ricorso, per quanto possibile, possibile al ricircolo delle stesse; ciò presuppone:
 - un sistema di trattamento delle acque di lavaggio, come la coagulazione e la sedimentazione dei solidi sospesi.
Prestazioni raggiungibili in condizioni normali: concentrazione di solidi sospesi: 20 mg/l.
 - nei sistemi a combustione soppressa, un più elevato livello di ricircolo può essere ottenuto attraverso l'iniezione di CO₂ nelle acque, prima dello stadio di sedimentazione per favorire la precipitazione dei carbonati.
- Utilizzo di rottame, per quanto possibile, con basso contenuto di zolfo e di metalli come piombo e cadmio.

3. Trattamento metallurgico secondario dell'acciaio

- Adozione di un sistema di captazione delle emissioni secondarie che si generano durante i processi di trattamento metallurgico secondario dell'acciaio e conseguente depolverazione dei fumi captati mediante filtro a tessuto oppure con qualsiasi altra tecnica che abbia lo stesso livello di efficienza di abbattimento.

Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:

- concentrazione di polveri dopo abbattimento:
 - con filtro a tessuto : 5÷15 mg/Nmc

4. Colaggio acciaio

- Riduzione dei reintegri delle acque dei raffreddamenti diretti in colata continua, mediante il ricorso, per quanto possibile, al ricircolo delle stesse; ciò presuppone il trattamento delle acque mediante:
 - un sistema di coagulazione e sedimentazione per l'eliminazione dei solidi sospesi;
 - un sistema di rimozione dell'olio.

5. Gestione dei residui

Per quanto possibile si consiglia di adottare:

- la minimizzazione della produzione dei rifiuti;
- il riciclaggio dei residui e dei sottoprodotti riutilizzabili, tra cui principalmente il materiale ferroso, le scorie di acciaieria, le polveri derivanti dalla depolverazione a secco, i fanghi derivanti dai sistemi di depolverazione ad umido del gas di acciaieria, le polveri derivanti dalla depolverazione con elettrofiltri a secco del gas di acciaieria tramite bricchettaggio, ecc...Riguardo al recupero di queste polveri, le bricchette vengono riutilizzate nella carica del convertitore e/o in altoforno. Invece del bricchettaggio, per particolari condizioni operative, e ove possibile, può essere adottato un processo di pellettizzazione.
- smaltimento in idonea discarica dei residui non riciclabili.

4.2.5 Stoccaggio e manipolazione di materie prime, prodotti intermedi e ausiliari

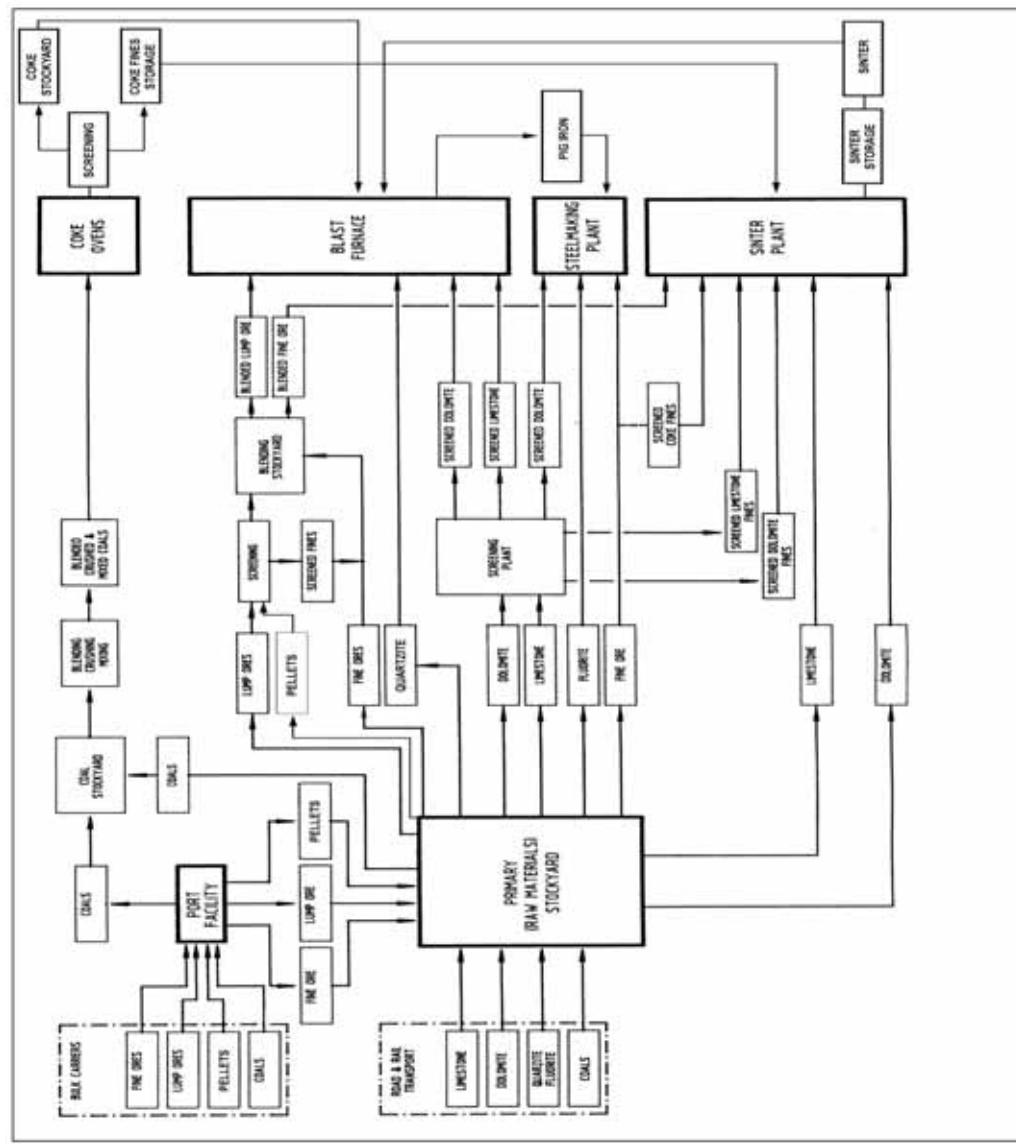
A) Aspetti tecnici, tecnologici ed ambientali

Nel ciclo integrato viene utilizzata un'elevata quantità di materie prime solide come minerali (calibrati, pellets, fini), carbon fossili, calcare, calce, ausiliari ecc..., necessari ai vari processi per la produzione dell'acciaio e che vengono generalmente approvvigionati mediante navi e/o attraverso mezzi stradali e ferroviari.

Tali materiali, nonché i prodotti intermedi (come ad esempio coke, agglomerato), sottoprodotti, ecc..., sono stoccati in cumuli in apposite aree di stoccaggio. Inoltre nei rispettivi impianti di trasformazione, i materiali solidi, a seconda delle necessità, possono essere stoccati per tipologia in silos, box, tettoie, ecc...

Il trasferimento dei vari materiali avviene, a seconda delle necessità, a mezzo di nastri trasportatori, nonché attraverso mezzi stradali e/o ferroviari.

Di seguito viene riportato un esempio di schema di flusso dei materiali in un ciclo integrato tradizionale con agglomerato senza impianto di bricchettaggio.



Per lo stoccaggio e la manipolazione delle suddette materie solide i principali aspetti ambientalmente rilevanti riguardano la limitazione delle emissioni di polveri a carattere diffuso.

B) Migliori tecniche e tecnologie disponibili

1. Stoccaggio materiali solidi

Adozione di una o una combinazione delle seguenti tecniche:

- Stoccaggio in cumuli a cielo aperto

Lo stoccaggio in cumuli è l'unica opzione per lo stoccaggio di elevate quantità di materiali, poco o moderatamente polverosi e che non hanno problemi di deteriorabilità con l'umidità, come minerali di ferro, carbon fossile, coke, calcare in pezzatura, ecc....



Parchi di stoccaggio materie prime

Le misure di prevenzione delle emissioni di polveri sono una combinazione delle seguenti tecniche:

- formazione di cumuli in modo tale da limitare l'esposizione all'effetto del vento come ad esempio: cumuli ad asse longitudinale parallelo alla direzione del vento prevalente, cumuli di maggiori dimensioni rispetto a più cumuli di minore capacità, cumuli conici o troncoconici che abbiano idonee proporzioni in modo da limitare la superficie esposta.

Le principali limitazioni che possono non rendere possibile l'applicazione delle suddette misure sono principalmente: la sfavorevole posizione del sito, la presenza di infrastrutture come strade, ferrovie, strutture, ecc.. che non possono essere modificate, l'indisponibilità del lay-out, la necessità di formazione di cumuli diversi sia per le diverse tipologie e qualità dei materiali che per assicurare la costante alimentazione degli impianti, la pendenza dei cumuli è quella assunta naturalmente dal materiale, ecc...;

- spruzzaggio di una soluzione di filmante sulla superficie dei cumuli di materiale che possono presentare un'elevata tendenza allo spolveramento in modo da creare un film superficiale di aggregazione delle particelle di materiale resistente all'azione del vento.

La principale limitazione che può non rendere possibile l'applicazione della suddetta misura deriva principalmente da possibili effetti di danneggiamento del materiale sottoposto all'azione dell'agente filmante o da necessità di continua movimentazione del materiale.



Filmatura cumuli

- umidificazione della superficie dei cumuli di materiale, non sottoposti all'azione della filmatura.
Le principali limitazioni che possono non rendere possibile l'applicazione di tale misura sono ad esempio la deteriorabilità del materiale con l'umidità, la mancanza di risorse idriche, ecc... Inoltre tale misura non viene ad essere applicata in caso di clima piovoso e/o freddo.
- copertura dei cumuli con teli o inerbimento della superficie dei cumuli, solo nel caso di stoccaggi per periodi molto lunghi in cui il materiale non viene ad essere movimentato;
- sospensione, se possibile, dell'attività di messa a parco e ripresa del materiale in caso di forte vento.
La principale limitazione che può non rendere possibile l'applicazione di tale misura deriva da effetti dannosi agli impianti per la interruzione dell'attività e/o per la mancata alimentazione delle materie prime.
- adozione di sistemi protettivi dall'azione del vento come recinzioni, reti protettive, piantumazione di alberi, adozione di colline artificiali, muri di contenimento.
Le principali limitazioni che possono non rendere possibile l'applicazione di tali misure derivano da problemi di lay-out, presenza di infrastrutture che non possono essere modificate, limitazioni della capacità di stoccaggio.

- Stoccaggio in sili o in sistemi coperti

Lo stoccaggio in sili può essere applicato quando la quantità di materiale da stoccare non è elevata o nel caso di stoccaggio di materiali che possono deteriorarsi sotto l'azione degli agenti atmosferici.

Per la limitazione delle emissioni che possono derivare nella fase di riempimento e/o ripresa del materiale dai sili può essere operata l'umidificazione prima dell'insilaggio e/o allo scarico. Tale tecnica è generalmente applicabile agli impianti esistenti dove maggiori sono i problemi di layout.

In alternativa e ove possibile, possono essere adottati sistemi di captazione e depolverazione. Il tipo di sistema di depolverazione deve essere valutato caso per caso.

Per lo stoccaggio di materiali in quantità non elevata e che possono deteriorarsi sotto l'azione degli agenti atmosferici, possono essere adottati sistemi di stoccaggio coperti che sono in genere costituiti da tettoie, capannoni, cupole.

Tali tecniche di stoccaggio non sempre sono applicabili per motivi tecnici, logistici e/o economici.



Stoccaggio sotto tettoia

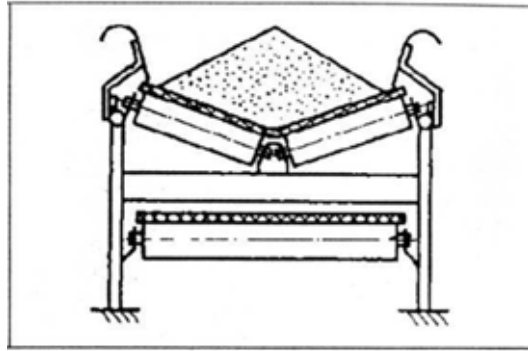
2. Trasferimento e manipolazione materiali solidi

Adozione di una o una combinazione delle seguenti tecniche:

- adozione, ove possibile, di sistemi di trasporto continuo, come l'utilizzo di nastri trasportatori, in alternativa al trasporto discontinuo (ad esempio a mezzo pala, camion, ecc..). Il tipo di sistema di convogliamento dipende dal tipo di materiale trasportato, dalla situazione logistica e deve essere valutato caso per caso. Per gli impianti esistenti l'applicazione di sistemi di trasporto continuo non è sempre possibile per motivi di layout, tecnici e/o economici, trattandosi di una tecnica notevolmente costosa.

Nel caso di utilizzo di sistemi di trasporto continuo, per materiali poco o moderatamente polverosi e/o umidificabili, quali ad esempio i minerali di ferro, i carbon fossili, il calcare in pezzatura, il coke, l'agglomerato, ecc..., possono essere applicati nastri trasportatori convenzionali con una delle seguenti tecniche o una appropriata combinazione delle stesse:

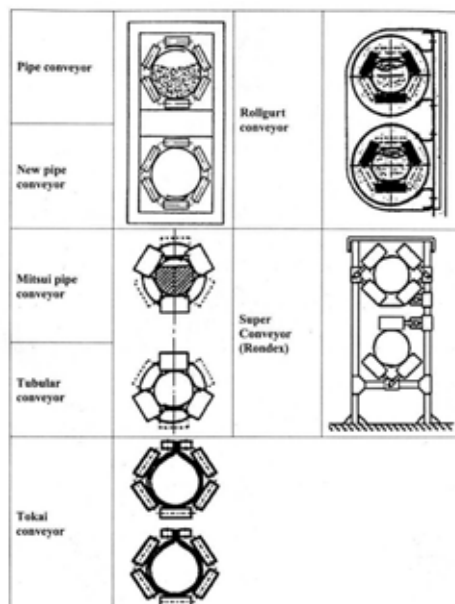
- sistemi di protezione dall'azione del vento;
- umidificazione o nebulizzazione d'acqua nei punti di trasferimento del materiale;
- pulizia del nastro mediante raschiatori o altro idoneo sistema.



Nastro convogliatore convenzionale

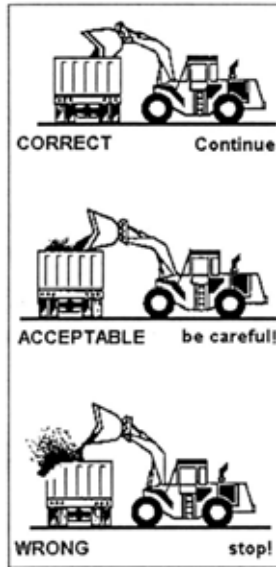
Nel caso di utilizzo di sistemi di trasporto continuo, per materiali molto polverosi e non umidificabili, quali ad esempio la calce, il carbon fossile polverizzato secco, ecc... possono essere applicati nastri trasportatori convenzionali protetti e adozione, ove possibile, nei punti di trasferimento del materiale di sistemi di captazione e depolverazione. Il tipo e la necessità del sistema di depolverazione deve essere valutato caso per caso.

Per nuovi stabilimenti che necessitano del trasporto continuo di materiali molto polverosi e non umidificabili, possono essere applicati sistemi di trasporto chiusi o sistemi che racchiudono il materiale trasportato all'interno del nastro (ad esempio nastri tubolari), la cui adozione comunque necessita di complesse infrastrutture in particolar modo nel caso in cui è necessario coprire lunghe distanze.



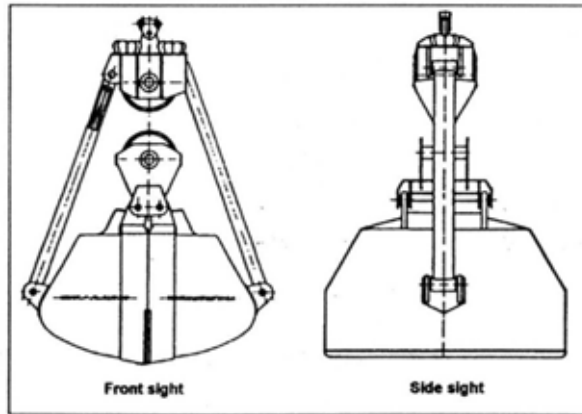
Nastri trasportatori tubolari

- nel caso di utilizzo di pale meccaniche deve essere per quanto possibile ridotta l'altezza di caduta del materiale scegliendo la migliore posizione durante il carico dei mezzi di trasporto;



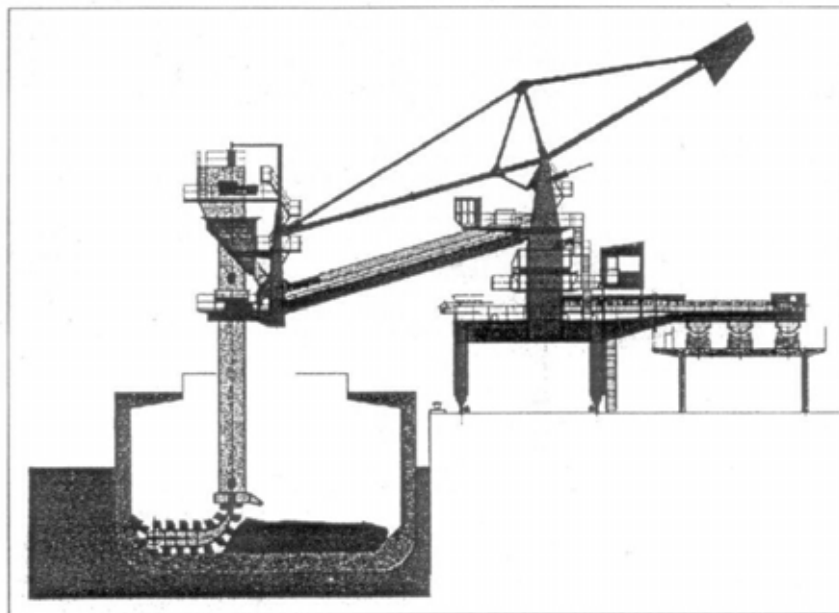
Carico camion con pala

- sospensione, se possibile, dell'attività di carico e scarico effettuata all'esterno in caso di forte vento (>20 m/s).
La principale limitazione che può non rendere possibile l'applicazione di tale misura deriva da effetti dannosi agli impianti per la interruzione dell'attività e/o per la mancata alimentazione delle materie prime.
- adozione di un'adeguata velocità dei mezzi di trasporto in modo da limitare il possibile sollevamento della polvere durante l'attraversamento di strade, piste, ecc...;
- adozione, ove possibile, di strade asfaltate che possono essere facilmente pulite con idonei sistemi di pulizia (spazzatrici, ecc...);
- adozione, ove possibile, della pulizia delle ruote dei mezzi con acqua, in modo da limitare l'eventuale sollevamento di polvere durante la movimentazione su strada;
- minimizzazione dell'altezza di caduta libera e della velocità di carico e scarico di materiali molto polverosi adottando ad esempio: deflettori, sistemi di regolazione di uscita del materiale, scivoli, tramogge, tubi in cascata, ecc...;
- adozione di un sistema di spruzzaggio di acqua per prevenire la formazione di polvere durante le attività di carico e scarico di materiali molto polverosi. Lo spruzzaggio di acqua può essere effettuato attraverso l'utilizzo di sistemi fissi o mobili.
Per materiali che non possono essere umidificati può essere adottato un sistema di nebulizzazione di acqua o lo spruzzaggio di acqua con additivi;
- nel caso di scarico materiali con benna il materiale deve essere rilasciato nella tramoggia e la benna deve stazionare per il tempo sufficiente alla discarica. La zona di scarico in tramoggia, può essere dotata di un sistema di spruzzaggio di acqua da attivare all'occorrenza.
Per le nuove benne dovrebbero essere applicate le seguenti proprietà:
 - idonea forma geometrica;
 - idonea capacità e volume di carico;
 - idonea superficie interna che limiti l'adesione del materiale;
 - buona capacità di chiusura.



Benna

Nello scarico dei materiali da navi, oltre all'utilizzo di scaricatori dotati di benne, possono essere adottati scaricatori continui in cui il materiale viene estratto dalle stive della nave a mezzo di un elevatore flessibile che convoglia il materiale direttamente sul nastro convogliatore di trasferimento.



Scaricatore continuo

4.3 Produzione d'acciaio al forno elettrico

La produzione di acciaio al forno elettrico è di per se stessa un'attività ecologica, in senso lato, in quanto sfrutta materiali simili ai prodotti finiti che altrimenti, al termine del loro ciclo di vita, non avrebbero destinazione, recuperando anche una buona parte dell'energia che inizialmente è stata spesa per ottenere l'acciaio a partire dal minerale.

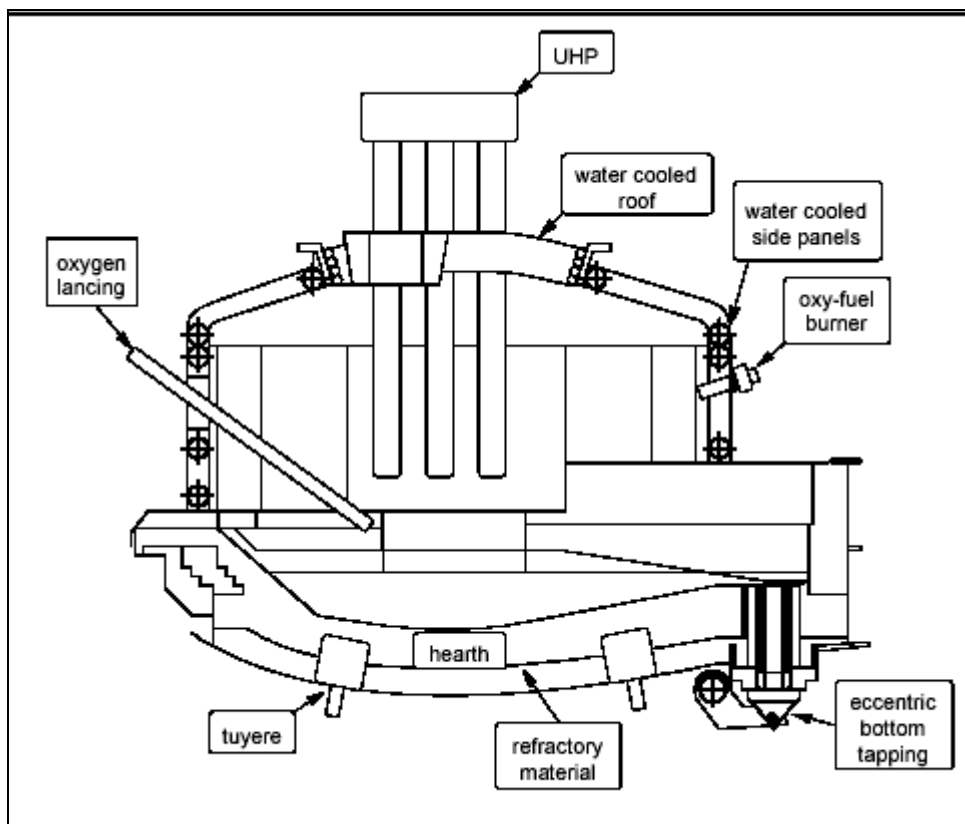
Riguardo ai consumi di energia resta comunque ancora ad un livello elevato (è, per così dire, molto energivoro).

- A fronte di tale prerogativa, l'operazione ha comunque un impatto ambientale; i principali aspetti ambientalmente rilevanti riguardano:
 - la captazione e l'abbattimento delle polveri
- i rifiuti solidi
- la gestione delle acque
- il consumo di energia
- i composti organoclorurati

A) Aspetti tecnici, tecnologici ed ambientali (consumi, emissioni, rifiuti)

Negli ultimi 15-20 anni il forno elettrico è stato oggetto di tutta una serie di miglioramenti che ne hanno, in definitiva, ottimizzata la marcia incrementandone la produttività e diminuendone, di conseguenza, il consumo specifico di energia.

La figura seguente riassume alcune delle tecniche di ottimizzazione



Esaminando le fasi principali del processo, secondo la suddivisione riportata al capitolo 3.3, si può osservare che le tematiche ambientali si presentano essenzialmente nelle fasi di :

- Carica del forno fusorio con o senza preriscaldamento
- Fusione in EAF dell'acciaio ed affinazione
- Scorifica e spillaggio
- Trattamenti di metallurgia secondaria

A fronte di questi fattori si possono adottare tecniche di mitigazione già sperimentate adottate e disponibili.

Inoltre, non tutte le tecniche, di cui si dirà nel seguito, sono estendibili a tutte le acciaierie del settore in maniera indifferenziata, in quanto non sempre le condizioni della specifica acciaieria permettono l'inserimento, o la modifica sostanziale, degli impianti e delle apparecchiature interessate.

- Preriscaldamento rottame.

Si basa sul concetto di recuperare il calore sensibile dei fumi captati in uscita dal forno elettrico. Negli anni passati il preriscaldamento più comunemente utilizzato era quello effettuato in ceste a cui veniva convogliata, direttamente, una quota spillata all'inizio del condotto fumi.

Il sistema è certamente oneroso dal punto di vista tecnico e manutentivo, costituendo peraltro un altro punto di emissione, per cui lentamente andrà in disuso.

Attualmente altri sistemi sono in via di espansione come utilizzo come ad esempio lo Shaft Furnace (vedi fig. A) ed il Consteel(vedi fig. B).

Tutti e due si basano sul fatto che i fumi, prima di andare al sistema di abbattimento, passano in controcorrente attraverso il rottame; la differenza risiede nelle modalità di come il rottame viene portato al forno. In entrambi i casi non è richiesta l'apertura della volta per la carica del rottame per cui il risparmio di energia viene maggiormente aumentato ed il tempo tap to tap ulteriormente ridotto.

Come concetto è applicabile ad impianti sia nuovi che vecchi; in pratica, però, l'installazione si deve verificare caso per caso in relazione al lay-out disponibile o altri vincoli tecnici esistenti..

Dal punto di vista delle criticità delle emissioni non esistono, per il sistema di carica in continuo, particolari problematiche di aspirazione e convogliamento all'impianto fumi del forno; anzi, la quasi totale assenza di cariche discontinue con cesta limitata, di molto, il fenomeno della dispersione di fumi secondari (la carica con cesta è limitata alle ripartenze dopo fermate prolungate, cioè a forno freddo e vuoto, o per alimentare rottame di pezzatura e forma non idonea al carico con il convogliatore in continuo).

Entrambi i sistemi portano un beneficio nel contenimento delle emissioni sonore.

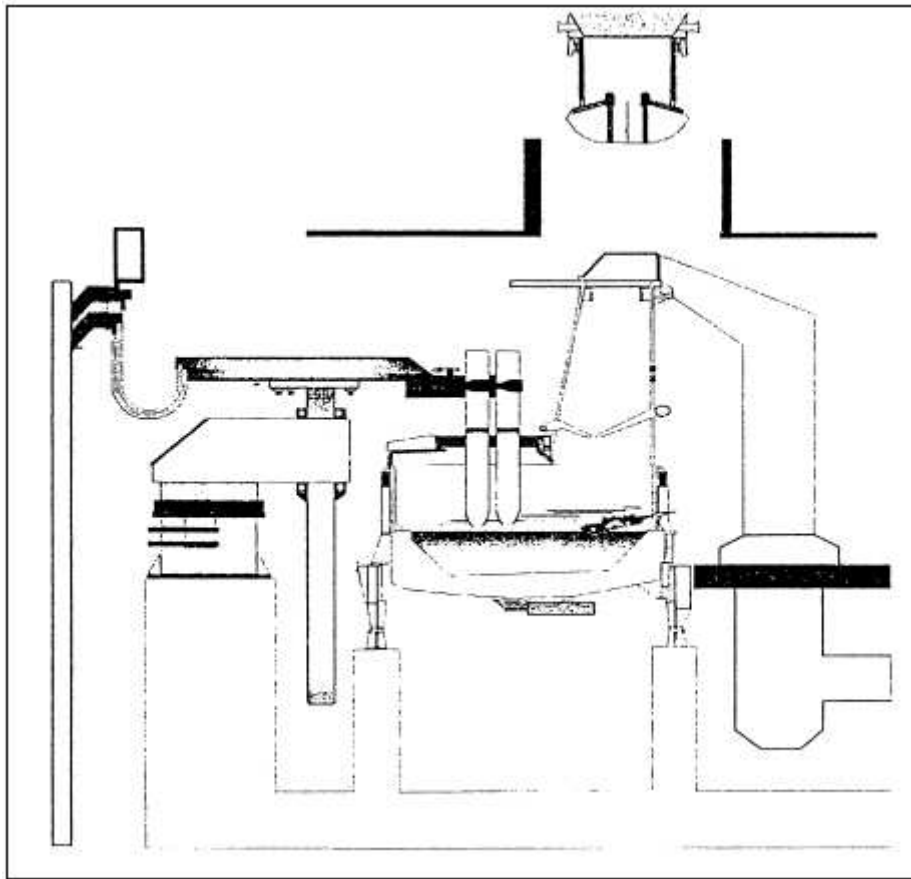


Fig. A –Esempio di EAF equipaggiato con “finger shaft furnace”

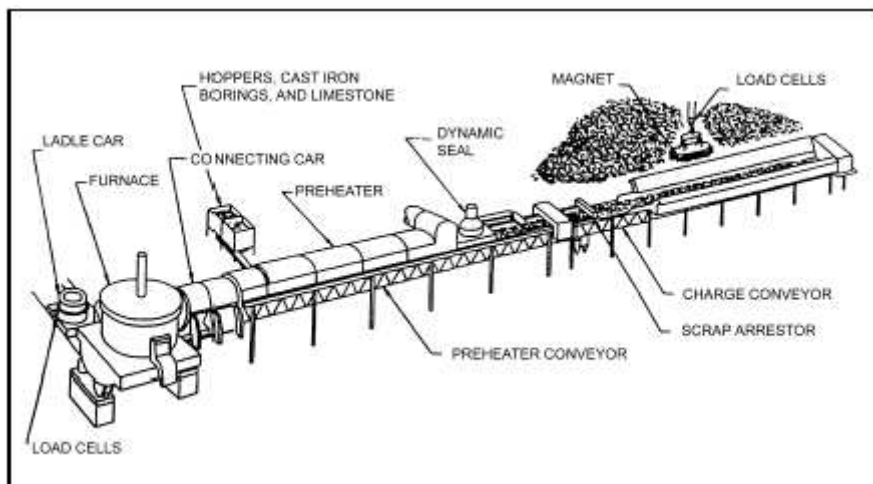


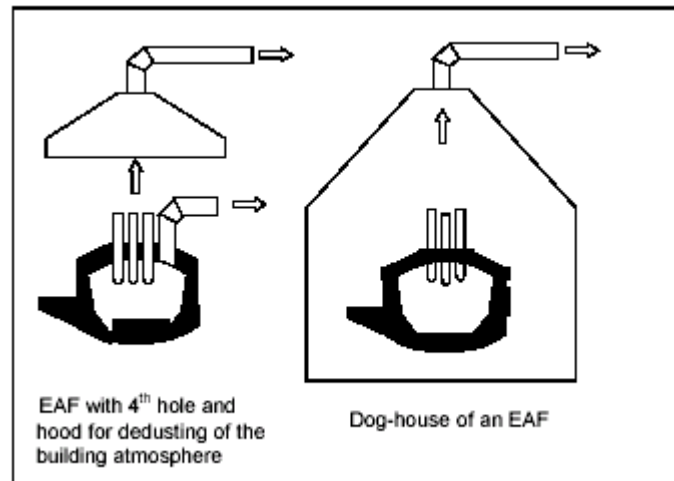
Fig. B –Esempio di EAF equipaggiato con “Consteel Process”

- Fusione in EAF dell'acciaio ed affinazione

La fase di fusione è quella in cui maggiormente si sviluppano le emissioni di polveri e di gas inquinanti di cui è strettamente necessaria la captazione (emissioni primarie).

A riguardo si sono evolute ed affermate diverse tecniche, di cui le più conosciute sono le seguenti:

- 4° foro e cappa (o 2° foro e cappa)
- 4° foro e dog – house
- Confinamento totale del forno



Il 2° o il 4° foro può estrarre praticamente le emissioni generate durante la fusione ed il periodo di affinazione.

Questo tipo di estrazione rappresenta lo stato dell'arte per le acciaierie moderne; il sistema può essere applicato anche ai vessels utilizzati nella metallurgia secondaria.

In un sistema a cappa, una o più cappe sopra il forno raccolgono i fumi indiretti uscenti durante il periodo di carica forno, fusione, scorifica e colaggio (fino al 90% delle emissioni primarie ed anche delle secondarie). Questi sistemi, che includono l'uso delle cappe, sono largamente utilizzati nelle acciaierie elettriche.

La combinazione dei due suddetti sistemi porta ad un miglioramento della captazione fino al 98%.

Le cappe vengono installate anche per raccogliere le emissioni provenienti dalla metallurgia secondaria e dai nastri trasportatori.

Il confinamento dei forni, chiamata dog-house, di norma incapsula il forno nel suo complesso e lascia qualche spazio di lavoro davanti alla porta. Normalmente i fumi vengono estratti vicino alla sommità attraverso aperture presenti nella stessa dog house, mentre l'aria di ricambio entra attraverso le aperture fatte a livello del piano di lavoro.

Il confinamento del forno ha un benefico effetto sulla riduzione del rumore, se questo confinamento viene realizzato in maniera corretta e con materiali adatti.

L'abbattimento del livello di pressione sonora può situarsi tra 10 e 20 dB(A).

Un altro sistema per la captazione delle emissioni secondarie, in pratica per tutte le installazioni a monte e a valle del forno, è una completa chiusura degli impianti in un capannone a tenuta.

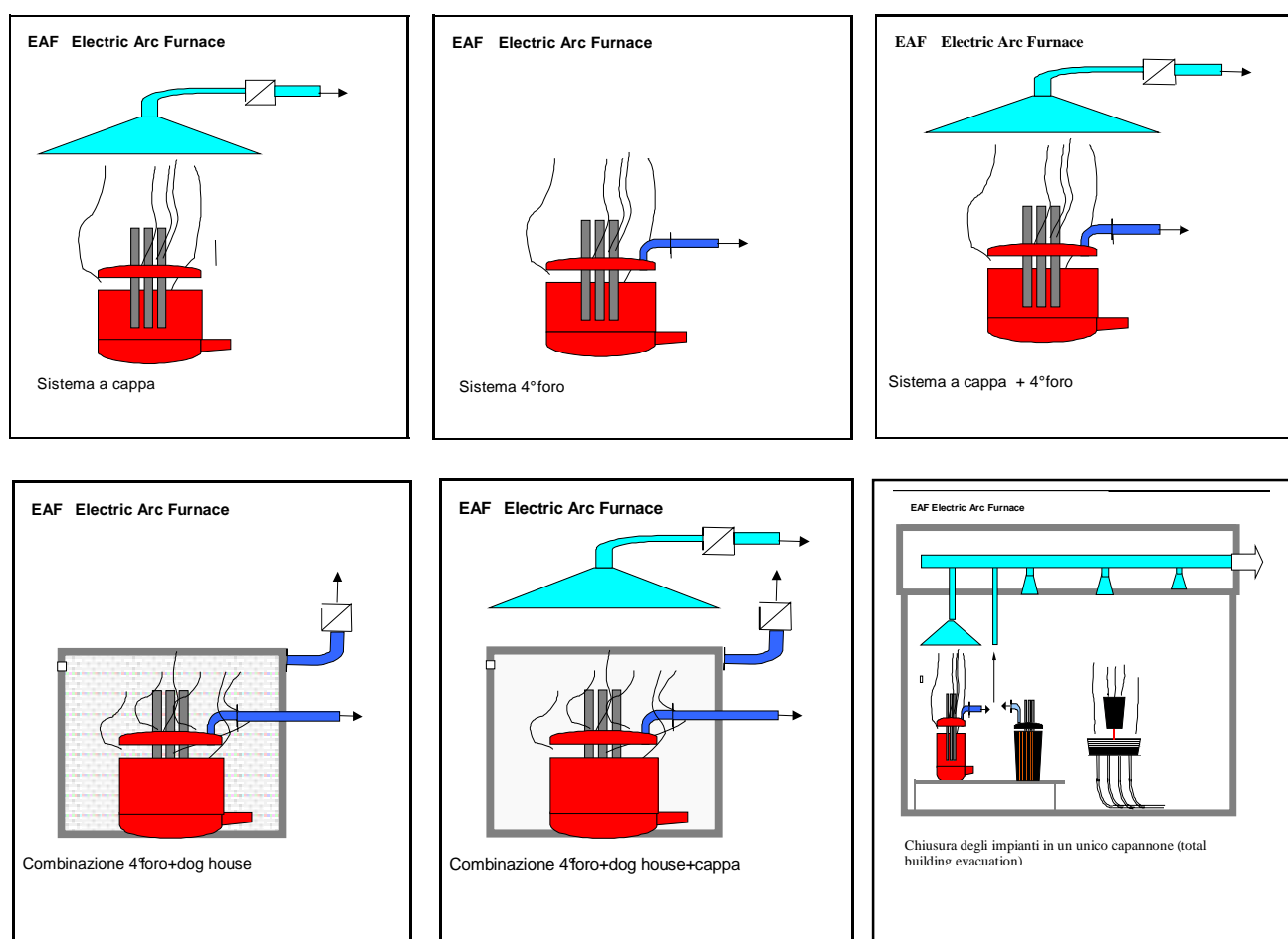
In pratica si tratta di una chiusura che include più di una fase di processo.

La costruzione di questi edifici richiede ulteriori installazioni per assicurare il completo abbattimento delle polveri. I costi per gli operatori sono elevati e bisogna tenere conto che impianti di questo tipo comportano una riduzione delle emissioni diffuse all'esterno ma possono comportare

anche effetti indesiderati negli ambienti di lavoro. Come conseguenza occorre un'accurata valutazione dei costi-benefici.

Nelle figure sottostanti vengono riportate esempi di configurazioni per realizzare la captazione complessiva delle emissioni primarie e secondarie.

SISTEMI DI ASPIRAZIONE DA EAF



Assieme alle polveri, nella fase di fusione ed affinazione dell'acciaio possono svilupparsi anche dei composti organoclorurati come PCB e PCDD/F. Un certo contenimento di queste emissioni può essere effettuato con la tecnica della post-combustione, affermatasi con il miglioramento delle operazioni, specialmente l'incremento dell'uso di ossigeno e fluidi, che hanno incrementato l'ammontare dell'energia chimica nei fumi primari (CO ed H₂).

A partire dalla metà degli anni '80 sono iniziate le prove per cercare di riutilizzare la massima parte di questa energia, ma il CO e l'H₂ non vengono quasi mai completamente ossidati ed è per questo che si ricorre alla post-combustione.

La post-combustione in una camera adatta serve a portare a completa combustione CO e H₂ in modo da impedire reazioni incontrollate nell'impianto di abbattimento.

In seconda battuta la post-combustione, se correttamente sistemata, riduce l'emissione dei composti organici.

- Scorifica e Spillaggio

In queste operazioni si sviluppano delle emissioni di polveri (secondarie) la cui captazione è presidiata dall'impianto di aspirazione del forno dei fumi secondari (cappa e/o dog – house).

Sempre in queste operazioni si ha la raccolta della scoria, un composto di ossidi di ferro, calcio, silicio, magnesio, alluminio, manganese; la maggior parte è costituita dai primi tre e nel totale costituiscono circa l'80% di questo sottoprodotto della produzione di acciaio.

Il totale della scoria prodotta durante tutto il processo si aggira tra il 12 ed il 14% dell'acciaio liquido prodotto; di questa circa il 60-65% è quella direttamente prodotta al forno elettrico; il complemento è quello che proviene dalla metallurgia secondaria.

Nel caso della produzione di acciai inossidabili, la quantità di scoria è pari a circa il 25% dell'acciaio prodotto. Di questa circa il 35 – 40% è prodotta da EAF, la rimanente quantità proviene dalla metallurgia secondaria.

- Metallurgia secondaria in forni di affinazione

I fenomeni emissivi, dovuti alle reazioni che avvengono nel forno siviera, sono più controllati e circoscritti rispetto a quelli del forno fusorio. Per questo il forno siviera è dotato di un sistema di aspirazione direttamente posto sulla volta del forno per la captazione dei fumi che si sviluppano dalle reazioni metallurgiche. L'aspirazione dei fumi, la cui portata è dell'ordine di qualche decina di migliaia di m³/h, viene in genere convogliata all'impianto fumi del forno fusorio.

Diverso è il caso dell'affinazione degli acciai inossidabili, che comporta emissioni di entità paragonabile a quelle del forno elettrico; per tale motivo queste emissioni sono generalmente captate ed abbattute con sistemi indipendenti.

- Colata continua o in fossa

Le colate continue non sono normalmente presidiate da sistemi di aspirazione localizzati.

Solo in alcuni casi sono presenti cappe aspiranti sopra le siviere mentre più diffuso risulta sulle stesse l'impiego di polveri di copertura e/o coperchi.

Le emissioni individuate durante la fase di colata continua, sono costituite da ossidi metallici provenienti dalle siviere e paniere in fase di colaggio, dall'eventuale ossitaglio delle billette.

I fenomeni emissivi legati alla colata in fossa sono contenuti e sostanzialmente costituiti da ossidi metallici derivanti dalle attività di colaggio e dai prodotti di trascinamento delle polveri di copertura utilizzate.

- Riscaldamento siviere

Sia in fase di primo riscaldamento, che in fase di mantenimento, il riscaldamento avviene con bruciatori a metano. Il primo riscaldamento si caratterizza per la presenza nelle emissioni di componenti organici che volatilizzano e sono prodotti dalla decomposizione del legante organico presente nell'impasto refrattario.

Per tale ragione le emissioni di primo riscaldamento sivera, con i gas combustibili, possono essere inviate ove possibile ad un recuperatore dei gas di combustione o convogliate all'impianto fumi dell'EAF, o trattate in apposito impianto.

Non risultano convogliate invece le emissioni dei successivi mantenimenti a caldo delle siviere, perché sostanzialmente costituite dai fumi di combustione dei bruciatori a metano.

- *Movimentazione, trattamento e stoccaggio scoria*

Queste attività generano un'emissione costituita dalle polveri della scoria stessa, per il contenimento delle quali vengono in genere praticate operazioni di umidificazione e pulizia dei piazzali.

Per quanto riguarda le informazioni qualitative le polveri emesse sono costituite essenzialmente da ossidi di calcio, ferro, silicio, alluminio ecc. in genere in forma di silicati, alluminati.

B) Migliori tecniche e tecnologie disponibili

- *Carica del forno – Fusione – Scorifica e Spillaggio*

- Preriscaldamento del rottame.

Il preriscaldamento del rottame, consente di recuperare il calore dei fumi prodotti durante la fusione.

Applicando un sistema di preriscaldamento del tipo descritto in A) è possibile raggiungere un risparmio di 50 kWh/t di acciaio liquido; applicazione che non può essere prescritta in generale per tutte le acciaierie del comparto, ma deve essere verificata impianto per impianto in quanto richiedono notevole disponibilità per il lay-out.

In ogni caso occorre tenere presente, e quindi prendere gli opportuni provvedimenti, che si potrebbero avere incrementi nelle emissioni di composti organici inquinanti.

- Aspirazione delle polveri sia primarie che secondarie.

Per impedire la diffusione nell'ambiente esterno delle polveri prodotte, in quantità variabile, durante un ciclo di fusione, le tecnologie più efficaci, come descritto in A), sono le seguenti:

combinazione di estrazione dei fumi direttamente dal 4° o 2° foro del forno ed una cappa opportunamente dimensionata atta a raccogliere quanto sfuggito al primo sistema;

- dog-house e cappa;
- dog-house ed aspirazione dal 4° foro
- sistema di aspirazione totale applicato all'edificio complessivo relativo all'acciaieria.

Con tali sistemi è possibile ottenere un'efficienza di captazione e contenimento dei fumi primari e secondari prodotti a diverso livello piuttosto elevata, pari al 98%.

Tale risultato, può essere esteso a tutte le acciaierie del settore con l'avvertenza che captazioni elevate non sono raggiungibili istantaneamente ma in un significativo periodo di tempo, in installazioni ben condotte e con efficaci ed efficienti sistemi di manutenzione.

- Abbattimento delle polveri captate

La tecnologia che meglio realizza l'obiettivo di riduzione delle polveri contenute nelle emissioni è quella che adotta filtri a maniche operanti a secco, eventualmente preceduti da filtri centrifughi per l'abbattimento delle particelle a granulometria più grossolana.

La qualità del tessuto deve essere opportunamente progettata.

Con sistemi di filtraggio di questo tipo si ottengono valori di emissione di polveri al camino con concentrazioni di 5 mg/Nm³ per i nuovi impianti e di 15 mg/Nm³ per gli impianti esistenti. Tali valori sono determinati come media giornaliera.

- Riduzione dei composti organoclorurati (PCDD/F e PCB in particolare) con l'uso di appropriati sistemi di post-combustione seguiti da un rapido raffreddamento oppure con insufflazione di polvere di lignite

– Ottimizzazione della post-combustione.

Oggi, questa tecnica può ridurre i composti organici come PCB o PCDD/F. A causa della rilevanza de novo synthesis di PCDD/F è importante che il raffreddamento dei fumi consenta un rapido attraversamento della fascia di temperatura caratteristica di questo fenomeno; questo può essere ottenuto ad esempio con una torre di quenching o mediante altri sistemi che garantiscano un rapido raffreddamento degli esausti.

La post-combustione con l'ulteriore scopo di minimizzare i microinquinanti necessita di un tempo di ritenzione, turbolenza e temperatura sufficiente.

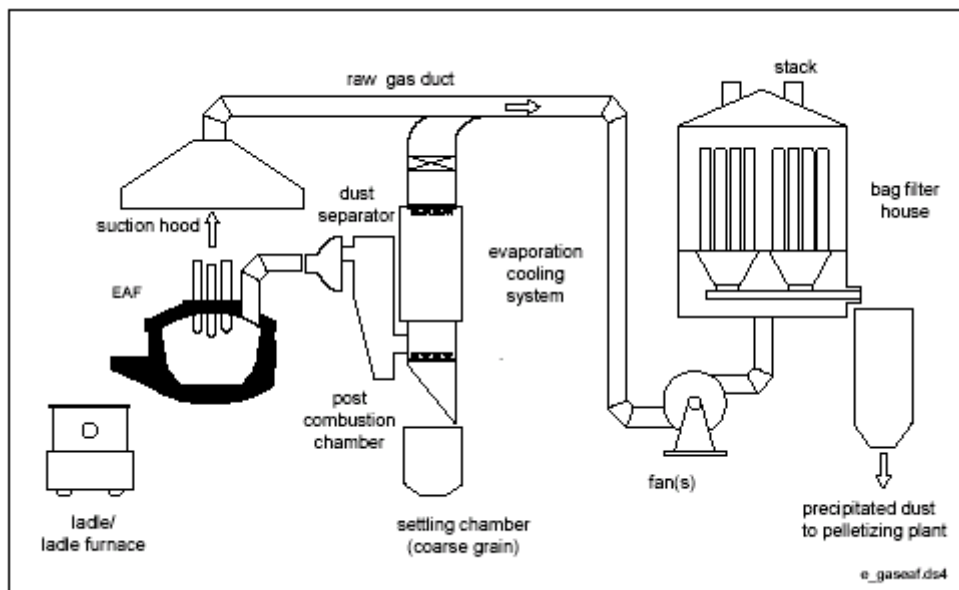
Se non si può introdurre una camera di combustione separata, la post-combustione può essere ottenuta nel condotto degli esausti.

Gli sviluppi più recenti prevedono camere di combustione separate con bruciatori aggiuntivi.

I livelli di emissione raggiungibili con un rapido raffreddamento, ottenuto per diluizione o con water quenching, o mediante altri sistemi che garantiscano un rapido raffreddamento dei fumi possono essere $\leq 0,5 \text{ ng I-TEQ/Nm}^3$ in condizioni ottimali.

La riduzione di PCDD/F può essere considerato come parametro guida; ci si può aspettare che gli altri microinquinanti vengano pure distrutti.

In linea di principio tali tecniche possono essere adottate sia in impianti nuovi che esistenti ma tenendo conto per questi ultimi delle effettive circostanze specifiche, come spazio disponibile, il sistema di aspirazione etc.



Esempio di un sistema di post - combustione seguito da raffreddamento veloce

– Iniezione di polvere di lignite od altri agenti adsorbenti (carbone attivo, ecc.)

Per ridurre i microinquinanti organici negli esausti (primari e secondari) e specialmente PCDD/F si può dosare sul condotto fumi prima dei filtri una certa quantità di polvere di lignite.

La quantità necessaria è di circa $100 \text{ mg di lignite/Nm}^3$ di esausti.

La polvere di lignite viene poi separata dal gas esausto nei filtri a maniche e smaltita con le polveri abbattute che peraltro già svolgono la funzione di adsorbire i microinquinanti condensati. Bisogna fare attenzione a scintille e possibili incendi o danneggiamenti delle

maniche. L'iniezione di polvere di lignite determina rischi di incendi per cui particolare attenzione deve essere posta nel caso di adozione di tale tecnica.

Le concentrazioni raggiungibili sono $\leq 0,5 \text{ ng I-TEQ/Nm}^3$.

- Riduzione della quantità di rifiuti solidi.

In linea di principio e con relative ridotte variazioni, in più o in meno in funzione della pratica operativa adottata nella conduzione del forno e del tipo di acciaio fabbricato, la produzione di scoria e polvere è quasi un'invariante. Anzi, per quanto riguarda la polvere, a parità di altre cose, lo sforzo è quello di captarne il più possibile.

Le tecniche di riduzione sono pertanto quelle che riducono la quantità finale da destinare alla discarica. Pertanto possono essere adottate, per quanto possibile, tecniche di riciclo all'interno o all'esterno dell'acciaieria dei residui prodotti.

- Per quanto riguarda la polvere di acciaieria la quantità che viene raccolta, in funzione del tipo di acciaio prodotto e della marcia adottata dal forno, si aggira su valori compresi tra 10 e 20 Kg/t di acciaio liquido con punte sino a 25 Kg/t.

Normalmente queste polveri sono la conseguenza della pulizia degli esausti captati e contengono una significativa quota di metalli pesanti che necessitano di attenzioni speciali in caso di lavorazioni successive o invio in discarica.

Tralasciando l'esame dei problemi, da risolvere con opportuni trattamenti, vetrificazione esclusa, della messa a dimora in discariche, le alternative di recupero si possono classificare in tre categorie:

- Riciclaggio delle polveri ricaricandole nel forno elettrico stesso
- Processi piro ed idrometallurgico per recupero dello zinco e recupero o rimozione degli altri metalli pesanti
- Processi come al punto precedente ma destinati al recupero sia dei metalli pesanti, del ferro e della scoria risultante.

In breve le caratteristiche dei processi sono:

- Riciclaggio delle polveri ricaricandole nel forno elettrico stesso
Lo scopo è quello di arricchire le polveri come contenuto di zinco diminuendone la quantità prodotta. L'operazione ha un impatto negativo sulla conduzione del forno riducendone l'efficienza ed incrementando il consumo di energia. Il riciclaggio della polvere ed il conseguente incremento del contenuto di zinco ha un limite nel consumo di energia e nei costi operativi prima che su altri fattori.

Per la definizione di possibili valori di miglioramento occorre tenere conto delle modalità di reiniezione della polvere che in ogni caso richiedono investimenti e costi di esercizio non trascurabili.

E' evidente che se oltre alla riduzione della quantità si conta sul recupero di elementi di lega (è il caso delle polveri provenienti dalla produzione di acciai alto legati o inossidabili) la convenienza appare più evidente.

- Processi piro ed idrometallurgico per recupero dello zinco e recupero o rimozione degli altri metalli pesanti

E' un processo per il recupero di metalli che per essere messi sul mercato hanno subito tutto il ciclo a partire dal minerale.

Le possibilità sono il processo piro ed idrometallurgico.

Le tecniche disponibili e provate sono il processo Waelz e l'EZINEX; per il recupero degli elementi di lega esiste il processo al plasma (tipo Plasminox)

- Processi come al punto precedente ma destinati al recupero sia dei metalli pesanti, del ferro e della scoria risultante.

Si tratta di un processo sperimentato (brevettato) ma non ancora passato alla fare realizzativa in quanto i suoi economics non sono ancora soddisfacenti.

In pratica una miscela di polvere, carbone ed altri additivi viene iniettata in un forno, di taglia adatta alle necessità, ma comunque diverso dall'EAF specifico anche se può essere collegato in linea con il sistema di captazione ed abbattimento polveri.

L'iniezione viene fatta tramite lance raffreddate in un bagno di scoria preventivamente fusa; l'apporto di energia viene attraverso un elettrodo.

La post - combustione del gas di processo mediante l'insufflazione di ossigeno fornisce il calore necessario allo svolgimento del processo stesso. Se si aumenta il quantitativo di carbone, od altro combustibile, si può giungere al mantenimento del processo con sola energia chimica. Il ciclo può essere continuo; il risultato delle operazioni è :

- fase metallica (ghisa) ricaricabile al forno elettrico
- polvere molto ricca in ossido di zinco (oltre l'85%) da usare come carica in processi di fabbricazione di zinco metallico.
- scoria inerte.

- Per quanto riguarda la scoria proveniente direttamente dal forno elettrico, dopo la deferrizzazione, può essere riutilizzata per le sue buone caratteristiche meccaniche e resistenza agli agenti atmosferici.

La tecnica consigliata per il recupero è quella prevista nel decreto sul riutilizzo dei rifiuti non pericolosi. Nell'applicazione di questa tecnica deve però essere revisionata la prova di eluizione prevista per il recupero di massa.

- Per il raffreddamento del forno, prevedere un sistema ad acqua a circuito chiuso

- Colata Continua

L'acqua è usata per il raffreddamento sia delle apparecchiature che del prodotto in uscita dalle colate continue.

Queste possono operare a circuito chiuso se dotate di opportuni impianti di trattamento acque, usualmente utilizzati anche per gli impianti di laminazione. Il consumo di acqua è limitato al reintegro delle perdite per evaporazione, smaltimento fanghi, etc.

La tecnica di cui sopra va supportata con un sistema di controllo e regolazione della qualità dell'acqua in termini di alcalinità, conduttività e corrosività.

E' evidente che il circuito chiuso richiede energia elettrica addizionale per il pompaggio dell'acqua.

4.4 La laminazione a caldo

Di seguito vengono riportate le migliori tecniche per gli impianti di laminazione a caldo di metalli ferrosi, i cui principali aspetti ambientalmente rilevanti riguardano:

- le emissioni in atmosfera dal processo di riscaldamento, laminazione e trattamento superficiale;
- il trattamento delle acque di processo, contenenti principalmente olio e solidi.

A) Aspetti tecnici, tecnologici ed ambientali (consumi, emissioni, scarichi, residui)

1. Condizionamento del semilavorato

I semilavorati (bramme, blumi e billette) provenienti sia da processi discontinui (colata in lingotti) che da processi continui (colata continua), possono presentare discontinuità sulla superficie del materiale. Alcuni di questi difetti possono essere pregiudizievoli al raggiungimento della qualità richiesta sul prodotto finale e quindi vanno asportati.

I sistemi per asportare i difetti in superficie sono essenzialmente di due tipi:

- abrasione mediante molatura;
- asportazione mediante fusione (scarfatura): i difetti superficiali sono rimossi tramite l'utilizzo di una fiamma che fonde ed ossida la superficie dei semilavorati.

In entrambi i casi il condizionamento del semilavorato può avvenire con sistemi manuali o con un macchinario fisso.

La scelta di utilizzare sistemi a freddo (molatura) od a caldo (fusione mediante scarfatura) è legata al tipo di materiale: generalmente per gli acciai inox e gli acciai speciali, per i quali non è possibile la rimozione termica dei difetti superficiali, si utilizza la molatura, mentre per gli acciai al carbonio si utilizza la scarfatura.

Il miglioramento della qualità superficiale dei prodotti colati riduce la necessità di bonifica superficiale del semilavorato.

Le principali emissioni in atmosfera, peraltro limitate, che si manifestano in normali condizioni durante tale fase di processo sono le polveri che derivano dalle attività di molatura e scarfatura.

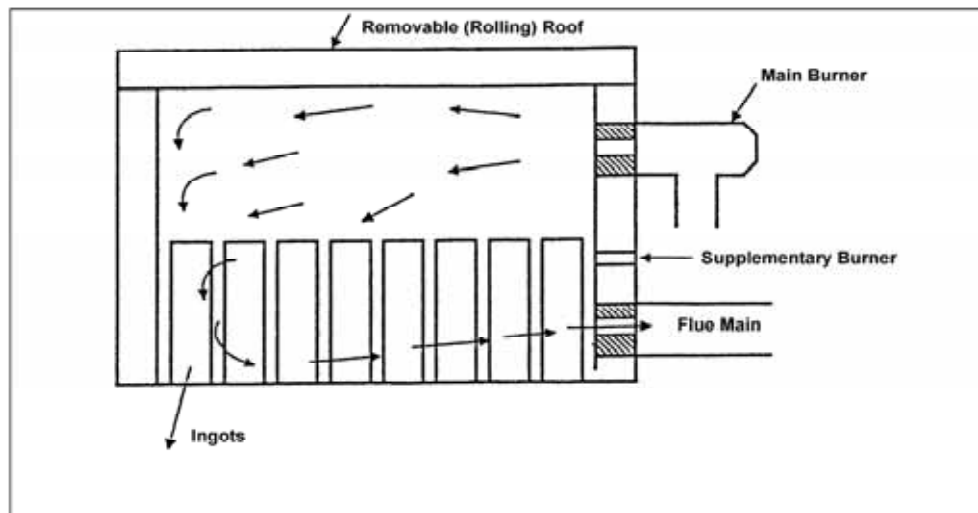
2. Riscaldamento del semilavorato

Il processo di riscaldamento persegue i seguenti obiettivi:

- rendere il materiale più facilmente deformabile;
- garantire che la laminazione a caldo avvenga alle temperature di processo richieste in tutte le sue fasi;
- permettere la solubilizzazione, dove necessario, di elementi specifici all'interno della matrice austenitica.

Gli impianti di riscaldamento possono essere di tipo discontinuo o continuo ed il calore necessario può essere fornito attraverso la combustione di combustibili quali olio combustibile, gas di cokeria, gas naturale, etc.

Gli impianti di tipo discontinuo sono solitamente forni a pozzo in cui vengono alloggiati bramme, lingotti o altro materiale che permangono sino al completamento del ciclo termico impostato (riscaldamento o mantenimento alla temperatura idonea per la laminazione).



Forno a pozzo

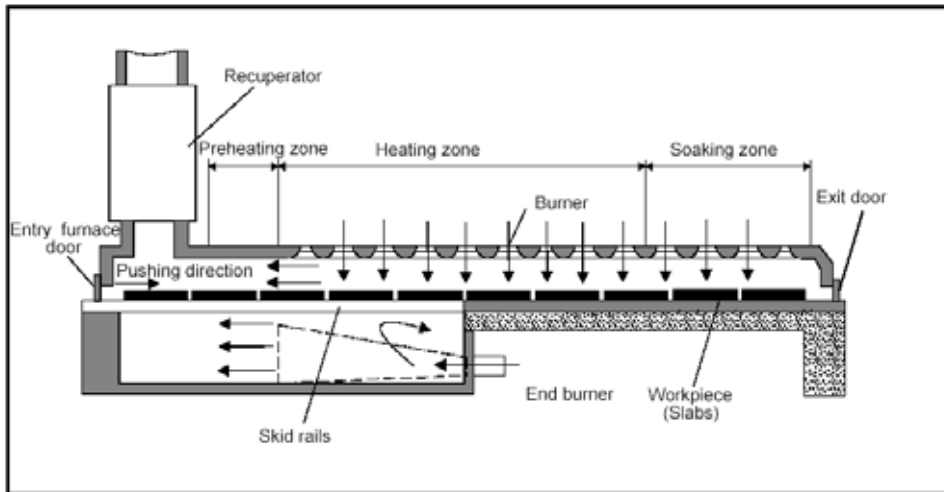
La maggior parte degli impianti di produzione di laminati piani, lunghi e tubi senza saldatura utilizza invece forni continui nei quali il semilavorato viene spostato all'interno del forno mentre viene riscaldato.

In funzione della geometria del forno e dal sistema mediante il quale viene spostato il semilavorato si hanno le seguenti tipologie di forni continui:

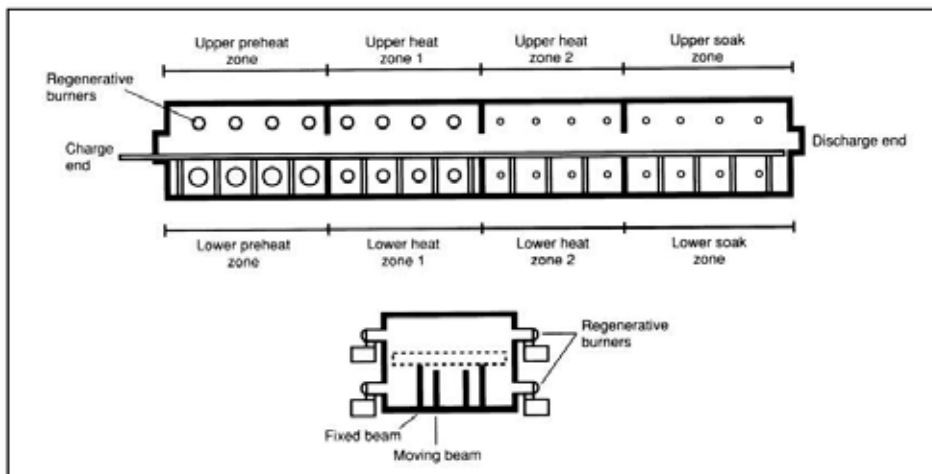
- forni a spinta: ciascun pezzo introdotto spinge i precedenti, in modo che all'inforamento di un semilavorato freddo corrisponde lo sfornamento di un semilavorato caldo;
- forni a "walking beam": l'avanzamento nel forno dei semilavorati avviene mediante un sistema di guide mobili e fisse disposte nel senso della lunghezza del forno; le guide mobili, ad intervalli regolari sollevano e trascinano in avanti tutti i pezzi posti in un forno ad una certa distanza gli uni dagli altri;
- forni a suola rotante: il forno è circolare e la suola (base) ruota, i semilavorati sono disposti come mozzetti di una ruota;
- forni a rulli (il semilavorato è mosso da speciali rulli coibentati e raffreddati interni al forno), utilizzati nelle colate continue sottili.

In funzione del tipo di riscaldamento, i forni continui possono essere:

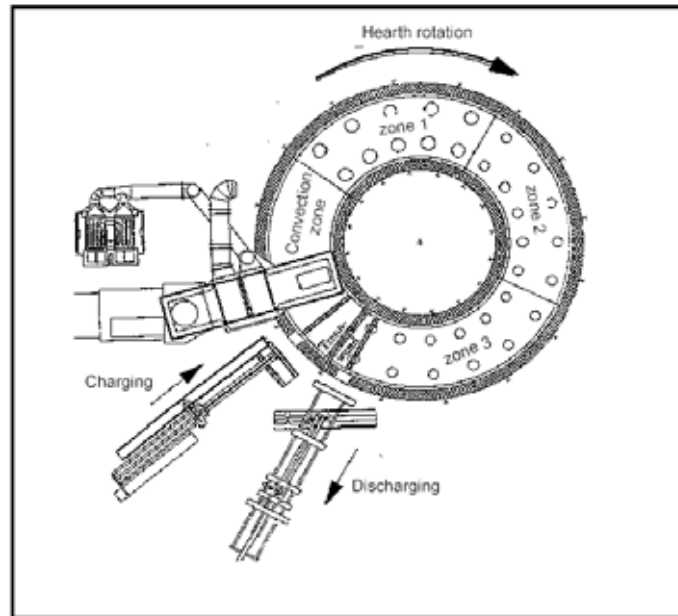
- forni a riscaldamento unilaterale (il riscaldamento avviene attraverso la sola superficie superiore del semilavorato)
- forni a riscaldamento bilaterale (il riscaldamento avviene attraverso la superficie superiore ed inferiore del semilavorato)
- forni a riscaldamento misto (nella lunghezza del forno una parte è a riscaldamento bilaterale, una parte è a riscaldamento unilaterale)



Forno a spinta



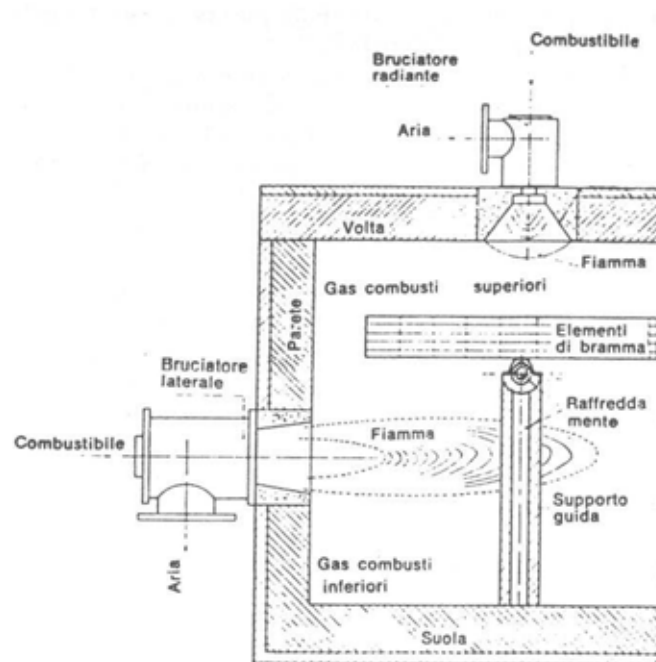
Forno "walking beam"



Forno a suola ruotante

Il controllo di temperatura e combustione all'interno dei forni continui è organizzato in funzione delle dimensioni e della tipologia del forno. Normalmente i forni continui, avendo la lunghezza come dimensione dominante, sono organizzati in zone di controllo della combustione nel senso della lunghezza del forno, ma, se di tipo bilaterale, anche per posizione del riscaldamento e per forni larghi anche nel senso della larghezza.

Nella figura seguente sono riportati gli elementi fondamentali dello scambio termico nei forni di riscaldamento continui:



Elementi fondamentali dello scambio termico nei forni di riscaldamento

Tra le tipologie di bruciatori superiori vi sono quelli di tipo radiante i quali consentono una distribuzione di temperatura uniforme all'interno dei forni, unitamente ad una elevata efficienza

termica. I bruciatori radianti sono atti ad essere installati in una volta piana e la combustione avviene completamente all'interno di una coppa, in materiale altamente refrattario; lo scambio termico con il materiale da riscaldare avviene per irraggiamento.

Il riscaldamento laterale, per i forni continui per i quali è previsto, generalmente è realizzato con bruciatori a fiamma lunga disposti lungo le pareti laterali.

I sistemi di supporto e movimentazione dei semilavorati all'interno dei forni di riscaldamento continui possono essere raffreddati a vapore o acqua oppure essere in solo refrattario e materiali isolanti.

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano in normali condizioni durante tale fase di processo sono quelle che derivano dal processo di combustione di combustibili per il riscaldamento dei forni (principalmente NO_x ed SO_x).

3. Discagliatura

Durante il riscaldamento all'interno dei forni si formano, sulla superficie del materiale, scaglie (fondamentalmente costituite da ossidi di ferro) che devono essere rimosse per evitare che lascino impronte sulla superficie del materiale durante la laminazione. La rimozione delle scaglie può essere di tipo meccanico (rottura meccanica della scaglia tramite una lieve laminazione) oppure può avvenire spruzzando acqua ad alta pressione sulla superficie del materiale.

La discagliatura, oltre che all'ingresso del treno sbizzatore, può essere effettuata anche in altri punti dell'impianto di laminazione, ad es. all'ingresso del treno finitore (per rimuovere la scaglia secondaria, ossia quella formata durante il trasferimento del materiale sulla tavola a rulli dal treno sbizzatore al treno finitore).

Dalla fase di discagliatura derivano dei reflui contenenti principalmente solidi (scaglie).

4. Laminazione

Esistono molti tipi di treni di laminazione, ciascuno dei quali è progettato specificatamente per un determinato tipo di prodotto da laminare.

Il modo più appropriato di classificare i treni di laminazione è quello di definirli attraverso il prodotto finale ottenuto:

- Treno per nastri: per la laminazione a caldo di bramme in nastri
- Treno per lamiere: per la laminazione a caldo di bramme in lamiere
- Treno per barre: per la laminazione a caldo di blumi o billette in barre
- Treno per tondi (vergella): per la laminazione a caldo di blumi o billette in tondi (vergella)
- Treno per profilati: per la laminazione a caldo di blumi in profilati.

Un treno di laminazione è costituito da una serie di gabbie di laminazione, ciascuna delle quali contiene, all'interno di un telaio, i cilindri di laminazione ed i relativi azionamenti per la regolazione della distanza tra i cilindri e quindi della deformazione da impartire al materiale.

Le gabbie di laminazione possono essere di tipo continuo (il materiale passa una sola volta) o di tipo reversibile (il materiale passa più volte, invertendo il senso di avanzamento).

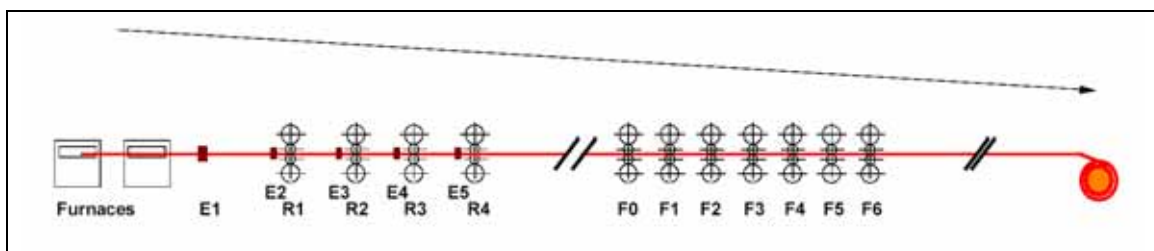
Le gabbie di laminazione possono possedere più tipi di cilindri: i cilindri di lavoro (sempre presenti) ed i cilindri di appoggio. I cilindri di lavoro sono quelli che deformano il materiale, mentre la funzione dei cilindri di appoggio è fondamentalmente quella di evitare l'incurvatura dei cilindri di lavoro nella laminazione delle bramme.

Laminatoi per nastri

La bramma riscaldata alla temperatura di laminazione nei forni di riscaldamento, dopo la fase di discagliatura, viene laminata nel treno sbizzatore, dove subisce una prima riduzione di spessore. Si ottiene una “barra di trasferimento” con spessori di circa 20-50 mm.

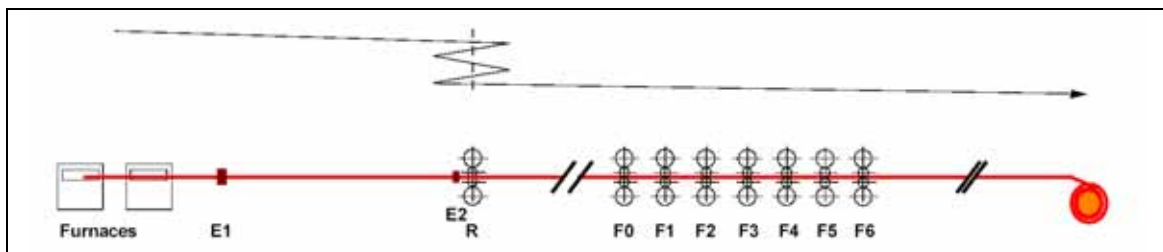
La sbizzatura può includere anche una riduzione di larghezza; infatti, poichè le bramme prodotte dalla colata continua hanno certe larghezze definite, può essere necessario ridurre la larghezza per avvicinarla a quella del nastro che si vuole ottenere, in modo da ridurre gli scarti e migliorare la resa. Questa riduzione può avvenire nei così detti edgers (gabbie di laminazione verticali) posizionati davanti alle gabbie sbizzatrici e/o attraverso l'utilizzo di una pressa posizionata prima del treno sbizzatore.

La laminazione al treno sbizzatore può essere effettuata utilizzando un treno continuo oppure una sola gabbia reversibile (invertendo il verso di rotazione) oppure una configurazione mista.



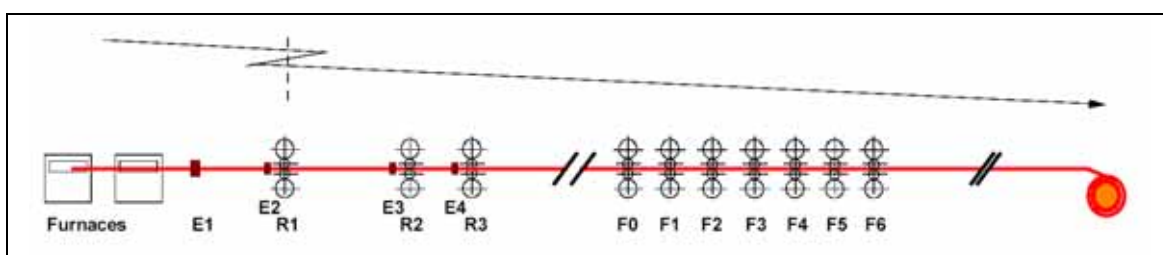
E = edger R = gabbia sbizzatrice F = gabbia finitrice

Configurazione tipica di un laminatoio a caldo per nastri continuo



E = edger R = gabbia sbizzatrice F = gabbia finitrice

Configurazione tipica di un laminatoio a caldo per nastri semi-continuo



E = edger R = gabbia sbizzatrice F = gabbia finitrice

Configurazione tipica di un laminatoio a caldo per nastri $\frac{3}{4}$ continuo

Il materiale sbozzato (barra di trasferimento) è generalmente inviato al treno finitore attraverso una via a rulli intermedia.

Nel treno finitore avviene la riduzione finale di spessore; un treno finitore è solitamente composto da più gabbie poste una dopo l'altra ed aventi le aperture dei cilindri tali che la riduzione di spessore avviene con un unico passaggio della barra di trasferimento.

Prima di entrare nel treno finitore, la barra di trasferimento viene tagliata attraverso una cesoia per eliminare le estremità che possono avere forma non regolare. Questo consente sia di ottenere un ingresso più sicuro nel treno finitore (minore rischio di danneggiamento dei cilindri) sia di ridurre la generazione di scarti.

La laminazione a temperatura controllata in un treno finitore (che comprende il raffreddamento controllato del nastro all'uscita della tavola a rulli) fornisce al nastro le caratteristiche finali richieste (durezza, tenacità, etc.).

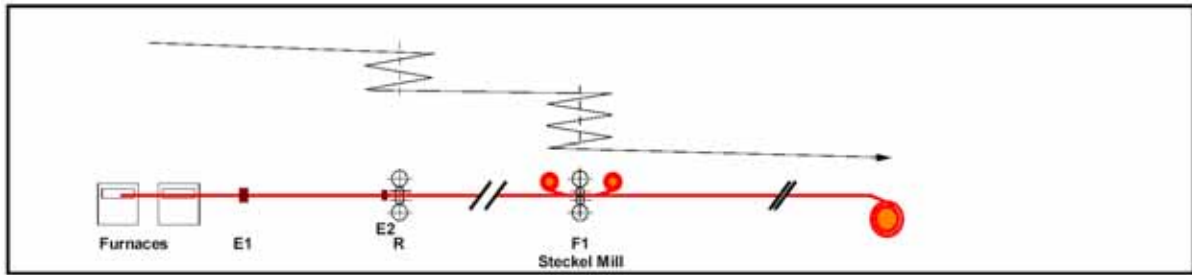
Il nastro laminato a caldo viene avvolto in un coil, utilizzando degli aspi avvolgitori.

I nastri laminati a caldo per i quali non è previsto il successivo processo di laminazione a freddo, possono avere la necessità di essere condizionati a seconda dell'utilizzo a cui sono destinati. La finitura dei coils può includere la spianatura, la rifilatura dei bordi, il taglio longitudinale in bande più sottili ed il taglio in fogli.



Treno nastri

I laminatoi Steckel rappresentano un modo speciale per la produzione di nastri nella zona finitore. Il materiale viene lavorato attraverso una laminazione di tipo reversibile in una gabbia finitrice.



E = edger

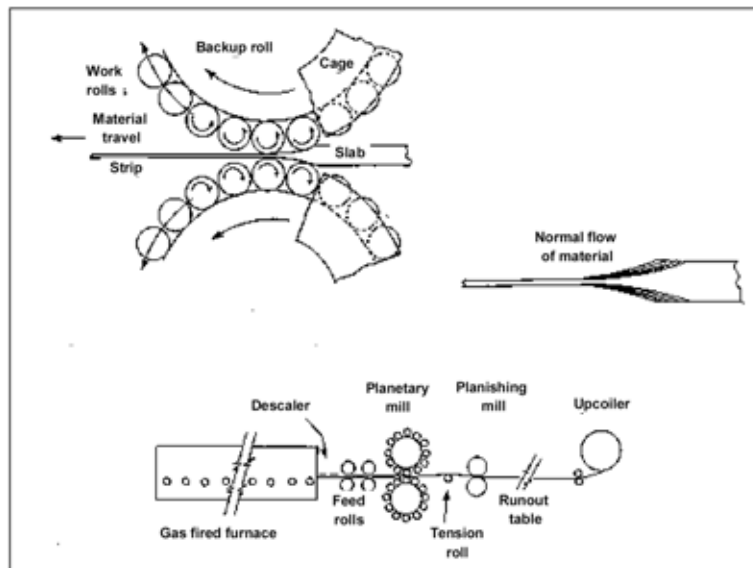
R = gabbia sbazzatrice

F = gabbia finitrice

Configurazione tipica di un laminatoio Steckel

Per ridurre a livelli ragionevoli le perdite termiche durante il processo di laminazione al finitore e per maneggiare più facilmente il nastro (relativamente lungo) si utilizzano degli avvolgitori riscaldati ad entrambi i lati della gabbia di laminazione (gabbia finitrice), dove il materiale laminato è stoccato temporaneamente.

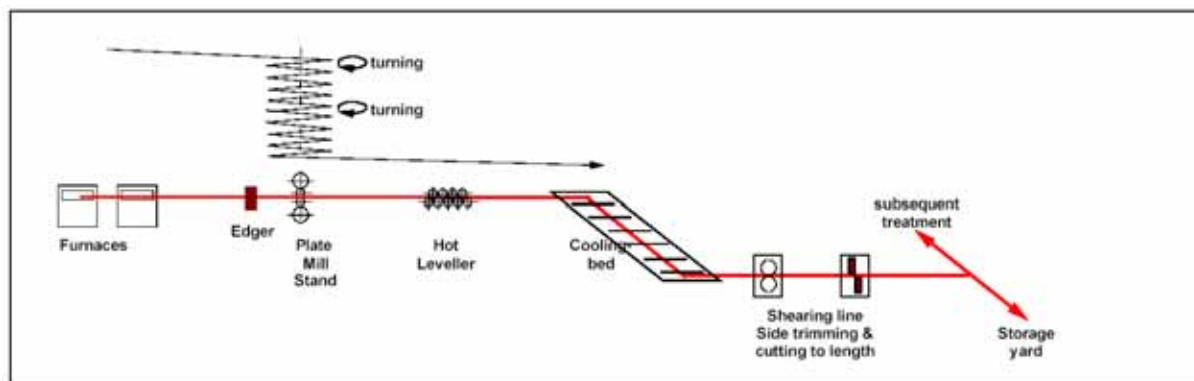
I laminatoi Planetario (Sendzimir) di questo tipo sono caratterizzati dall'utilizzo di particolari configurazioni dei cilindri di laminazione: si utilizzano cilindri di appoggio che guidano i cilindri di lavoro in modo che la superficie di questi ultimi si muove in una direzione opposta a quella del pezzo da lavorare.



Laminatoio planetario

Laminatoi per lamiera

La produzione è realizzata tramite laminazione reversibile utilizzando o un'unica gabbia di laminazione o due gabbie di laminazione (una sbazzatrice ed una finitrice). Dopo la laminazione, le lamiera sono posizionate su un letto di raffreddamento e raffreddate a temperatura ambiente o temperature idonee per i trattamenti successivi.



Configurazione tipica di un laminatoio a caldo per lamiera

In casi particolari il prodotto laminato è trattato termicamente attraverso sistemi di raffreddamento ad acqua immediatamente dopo la laminazione a caldo.

Prima o dopo il letto di raffreddamento le lamiera possono essere spianate per conferire al prodotto idonee caratteristiche di planarità.

Dopo il letto di raffreddamento, si effettua la finitura delle lamiera (taglio, rifilatura bordi, riduzione alla lunghezza desiderata).

Dopo la finitura, alcuni prodotti possono essere soggetti a trattamento termico (ad es. ricottura, ricottura sferoidale, distensione, normalizzazione, tempra e rinvenimento).

Inoltre attraverso un processo di laminazione a caldo possono essere ottenuti prodotti speciali multi-strato (placcati) costituiti da uno strato interno di acciaio al carbonio e strati esterni superficiali aventi particolari caratteristiche di resistenza alla corrosione.

Laminatoi per barre

Le barre laminate a caldo comprendono fondamentalmente due tipi di prodotti in acciaio:

- barre commerciali con sezioni trasversali di vario tipo (tonde, quadrate, rettangolari, esagonali, ottagonali, semitonde, ad L, a T, a Z, ad I, etc.)
- barre di rinforzo del calcestruzzo (re-bars), con sezione tonda (da 6 a 56 mm di diametro) e con nervature sulla superficie.

I laminatoi per barre sono in genere laminatoi a singolo elemento, costituiti da un treno sbozzatore, un treno intermedio ed un treno finitore seguiti da cesoie che tagliano il prodotto laminato in barre lunghe, che sono quindi trasportate su letti di raffreddamento. I laminatoi possono essere continui o aperti.

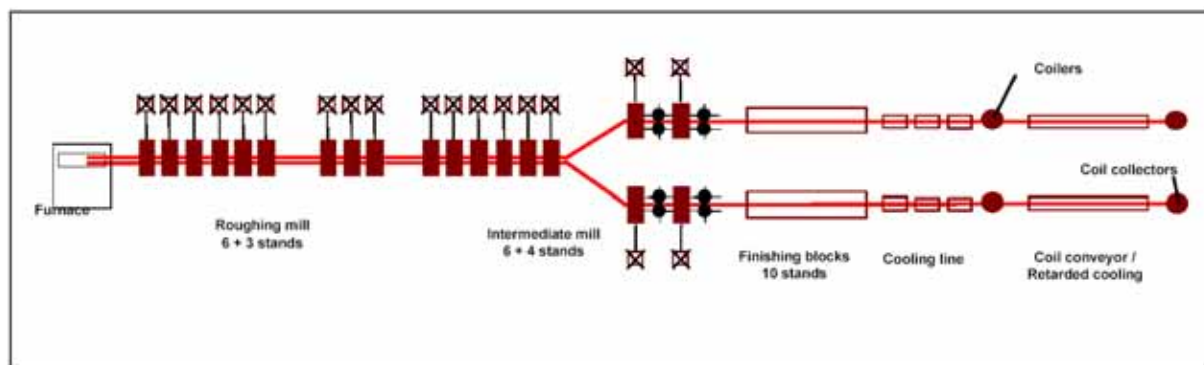
Dopo il raffreddamento, le barre sono tagliate alle lunghezze commerciali e possono essere raddrizzate a freddo tramite una raddrizzatrice.

Spesso le barre di rinforzo per calcestruzzo sono trattate termicamente in linea attraverso un raffreddamento ad acqua intensivo per ottenere un elevato carico di snervamento e di rottura. Un modo diverso per aumentare il carico di snervamento e di rottura consiste in un trattamento meccanico dopo il raffreddamento: le barre sono deformate a freddo fino ad ottenere il carico di rottura desiderato.

Laminatoi per vergella

La vergella è un prodotto in genere di sezione circolare con un diametro compreso tra 5 e 16 mm. Utilizzando cilindri con scanalatura di forma adeguata, si possono ottenere sezioni più grosse e sezioni di forme differenti (ad es. ovale, quadrata, esagonale, ottagonale, etc).

La vergella laminata a caldo di solito è utilizzata per essere ulteriormente processata o tramite trafilatura a freddo o tramite laminazione a freddo.



Esempio di laminatoio a caldo per vergella (a due elementi)

Le billette alimentate ai laminatoi per tondi sono riscaldate alla temperatura di laminazione in forni del tipo a spinta o del tipo “walking beam”.

Tra l’uscita dei forni e la prima gabbia di laminazione si può effettuare una discagliatura.

I laminatoi per tondi sono composti da un treno sbozzatore, un treno intermedio ed un treno finitore. La sezione di sbozzatura e quella intermedia possono essere a più elementi, mentre la sezione di finitura è di solito a singolo elemento.

Tra le varie sezioni del laminatoio sono installate delle cesoie utilizzate per impartire un taglio “pulito”, in modo da migliorare l’introduzione nelle gabbie di laminazione successive. Le cesoie sono utilizzate anche per tagliare il materiale impegnato nel processo di laminazione in caso di incidente a valle nel laminatoio.

La vergella può subire un trattamento termico in linea che consiste in un raffreddamento ad acqua posizionato tra le gabbie finali di laminazione e gli avvolgitori. Inoltre, dopo l’avvolgimento, la vergella, poggiata su trasportatori, subisce un raffreddamento ad aria.

Laminatoi per profilati

Come la maggior parte degli altri tipi di laminatoi, i laminatoi per profilati sono composti da gabbie sbozzatrici, gabbie intermedie e gabbie finitrici, generalmente precedute da una discagliatrice installata tra i forni di riscaldamento ed il treno sbozzatore.

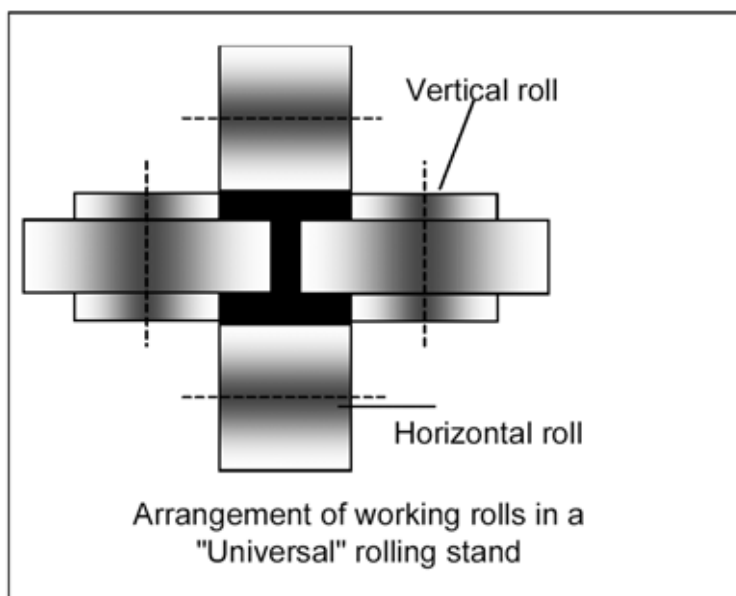
Le gabbie sbozzatrici sono in genere di tipo reversibile. I cilindri possono avere una serie di profili, che sono utilizzati in sequenza. Il cilindro superiore può essere mosso verticalmente al fine di ridurre progressivamente l'apertura tra i cilindri e pertanto ridurre la sezione di passaggio nei reversibili.

In genere tra le varie sezioni del laminatoio sono installate delle cesoie a caldo, utilizzate per impartire un taglio "pulito", in modo da migliorare l'introduzione nelle gabbie di laminazione successive.

All'uscita del treno finitore, il profilato viene diviso nella lunghezza del letto di raffreddamento o nelle lunghezze commerciali tramite cesoie.

Dopo i letti di raffreddamento il prodotto è raddrizzato a freddo tramite raddrizzatrici meccaniche o idrauliche ed è tagliato alla lunghezza richiesta tramite sistemi meccanici (cesoie, segatrici, ecc..).

Per ottenere i vari profili richiesti si utilizzano o gabbie con due cilindri scanalati, o gabbie "universali" costituite da due cilindri orizzontali e due cilindri verticali.



Gabbie universali

Il controllo della geometria è di estrema importanza nella laminazione di profilati, poiché per i profilati laminati a caldo di solito sono richieste tolleranze piuttosto strette e si utilizzano strumenti di misura basati su tecniche sofisticate.

I layout dei laminatoi per profilati variano enormemente a seconda del tipo di profilato da produrre.

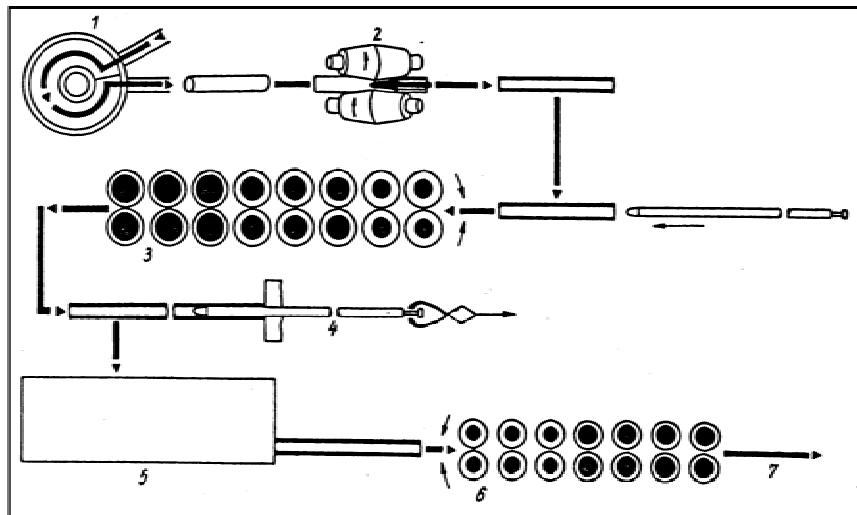
Laminatoi per tubi senza saldatura

La produzione dei tubi senza saldatura può essere realizzata utilizzando processi differenti ed è costituita fondamentalmente dalle seguenti fasi:

- riscaldamento del materiale in ingresso
- perforazione (perforazione per pressione o laminazione obliqua)
- allungamento/stiramento
- laminazione finale
- trattamento termico

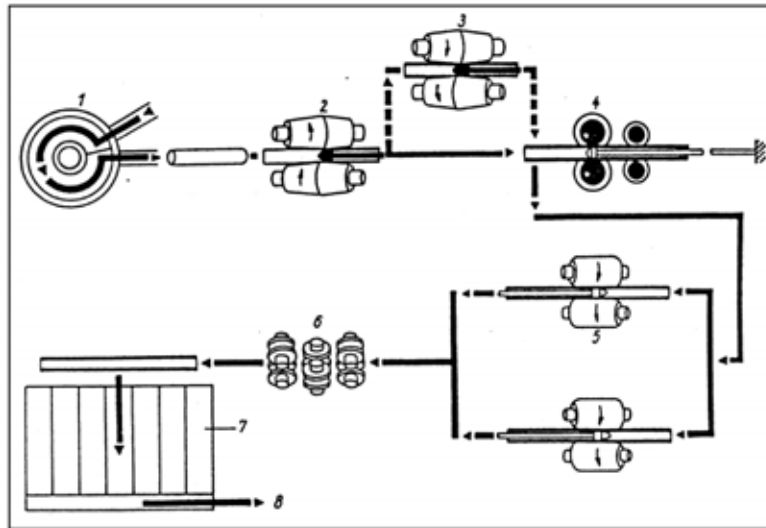
Le tipologie più importanti di impianti attualmente utilizzati sono i laminatoi a mandrino, i laminatoi a spina, i laminatoi a passo di pellegrino ed i laminatoi con banco a spinta; la denominazione di questi impianti deriva dal nome del laminatoio sbizzatore.

Le figure seguenti mostrano alcune configurazioni tipiche di laminatoi per tubi:



- | | |
|--------------------------|--|
| 1. Forno a suola rotante | 5. Forno di riscaldamento |
| 2. Perforazione | 6. Stiramento |
| 3. Laminatoio a mandrino | 7. Al letto di raffreddamento ed alla finitura |
| 4. Estrattore | |

Laminatoio a mandrino



- | | |
|--------------------------|---------------------------------------|
| 1. Forno a suola rotante | 5. Reeler |
| 2. Perforazione | 6. Laminazione alla dimensione finale |
| 3. Allungamento | 7. Letto di raffreddamento |
| 4. Laminatoio a spina | 8. Finitura |

Laminatoio a spina

La materia prima per la produzione di tubi d'acciaio non legati e medio-legati è costituita da billette o blumi tondi ottenuti dalla colata continua, sebbene a volte si possono utilizzare billette con sezione trasversale quadrata. La materia prima per gli acciai al cromo alto-legati sono fundamentalmente barre tonde, laminate da billette colate.

Il materiale in ingresso è riscaldato alla temperatura di laminazione in forni a suola ruotante, alimentati con gas naturale o olio combustibile.

Successivamente si ottiene una billetta cava tramite perforazione. Il processo di perforazione più importante utilizza cilindri inclinati: la cavità è prodotta attraverso due cilindri inclinati che ruotano nella stessa direzione, in modo che il materiale è laminato con un movimento a vite su una spina perforatrice.

Per la fase di allungamento si utilizzano la laminazione longitudinale, la laminazione trasversale o presse. Il processo più importante è quello di laminazione dei tubi in continuo, in quanto è uno dei più produttivi e dei più efficienti.

Alcune gabbie di laminazione sono utilizzate contemporaneamente (di solito 6-8 gabbie per gruppo), ad un angolo di 90° tra di loro. La riduzione dello spessore della parete ha luogo tra i cilindri ed un mandrino cilindrico lubrificato.

La laminazione alla dimensione finale è effettuata senza un mandrino interno nei laminatoi calibratori o nei laminatoi di stiramento.

I laminatoi calibratori hanno 2-10 gabbie e possono avere 2 o 3 cilindri per gabbia; poiché si riduce la circonferenza, aumenta lo spessore della parete.

Nei laminatoi di stiramento, che di solito hanno tre cilindri per gabbia e fino a 30 gabbie, si evita un aumento dello spessore della parete, in quanto si applicano forze di trazione tra le gabbie durante il processo.

I tubi destinati ad applicazioni che non richiedono speciali caratteristiche meccaniche, non sono sottoposti a trattamenti successivi. Se è richiesta una maggiore qualità, in particolar modo una

buona tenacità, dopo la laminazione si effettua un trattamento termico separato che può includere normalizzazione e rinvenimento.

I cilindri di lavoro nel processo di laminazione a caldo sono gli utensili mediante i quali viene applicato lo sforzo di deformazione al laminato; di conseguenza a questo loro utilizzo, essi sono soggetti a sollecitazioni di natura meccanica e termica che comportano modifiche della forma e della superficie dei cilindri stessi. L'entità di queste usure cambia in funzione sia delle caratteristiche (dimensioni e materiale) del cilindro stesso sia delle caratteristiche di lavorazione (riduzione, velocità e temperatura) che il cilindro effettua sul materiale.

I cilindri di laminazione sono normalmente riutilizzabili dopo ricondizionamento, sia delle superfici che di alcune dimensioni, che dei sistemi di supporto (anelli, cuscinetti, guarniture, etc.).

I cilindri dei treni di laminazione sono condizionati in base a specifiche ben definite, a seconda del prodotto da laminare. Il condizionamento dei cilindri è effettuato nella torneria cilindri, in cui in genere si svolgono le seguenti operazioni:

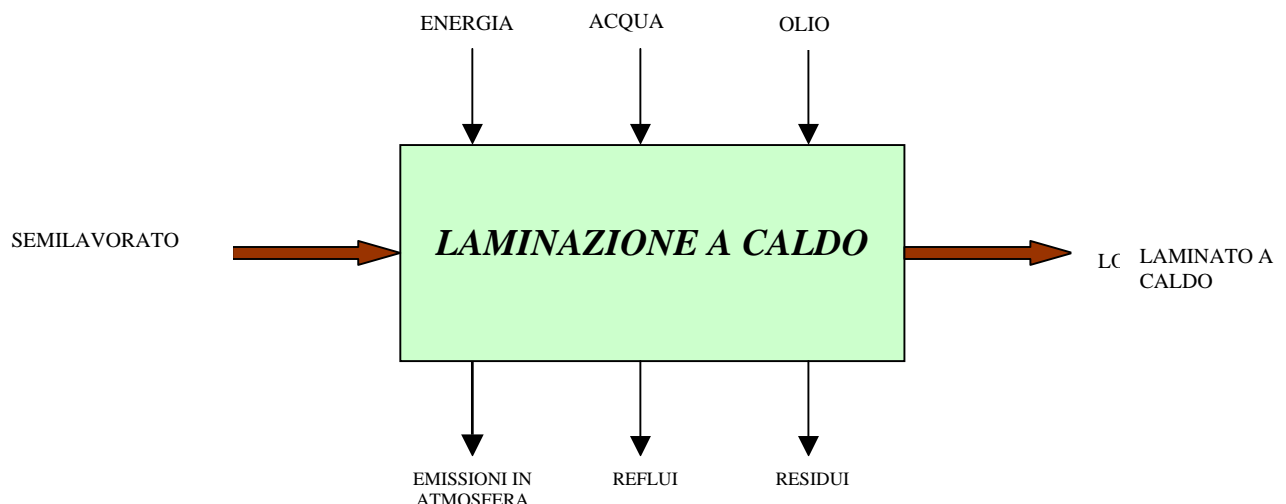
- raffreddamento: i cilindri di lavoro sono raffreddati in atmosfera o con spruzzi d'acqua;
- preparazione: le guarniture, i cuscinetti, i supporti sono eventualmente smontati e messi a punto;
- pulizia: i cilindri da condizionare sono puliti da depositi e lubrificanti;
- condizionamento: i macchinari tipici utilizzati sono i torni, le rettificatrici e le mole.

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano in normali condizioni durante la fase di laminazione a caldo sono costituite dalle polveri che possono provenire dalle gabbie di laminazione; queste emissioni dipendono ampiamente dalla velocità di laminazione e dall'area superficiale del prodotto.

Inoltre da tale fase di processo si generano dei reflui, contenenti principalmente olio e scaglie.

Bilancio complessivo di materia ed energia

Lo schema di flusso di materia ed energia in ingresso ed in uscita dalla laminazione a caldo è sinteticamente di seguito rappresentato:



I principali residui nel normale esercizio sono costituiti dalle scaglie di laminazione, residui oleosi, rottame, polveri derivanti dai sistemi di depurazione a secco che vengono, sin dove possibile, riciclati. Altri residui quali ad esempio refrattari a fine ciclo, fanghi derivanti dal trattamento acque, utensili da taglio esauriti, ecc.... vengono smaltiti e, ove possibile, riciclati.

B) Migliori tecniche e tecnologie disponibili

1. Condizionamento del semilavorato

- Adozione delle seguenti tecniche alla scarfatura tramite macchinario fisso:
 - sistema di captazione delle emissioni e conseguente depolverazione dell'aeriforme captato mediante filtro a tessuto o elettrofiltro a secco o ad umido (nel caso di fumi molto umidi).
Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:
 - concentrazione di polveri dopo abbattimento:
 - con filtro a tessuto : ≤ 20 mg/Nmc
 - con elettrofiltro a secco o ad umido : 20÷50 mg/Nmc
 - trattamento delle acque derivanti dalla filtrazione ad umido per la separazione dei solidi.
- Adozione di un sistema fisso di captazione delle emissioni che si verificano durante la molatura e conseguente depolverazione dell'aeriforme captato mediante filtro a tessuto.
Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:
 - concentrazione di polveri dopo abbattimento: ≤ 20 mg/Nmc

Le suddette tecniche sono applicabili ai nuovi impianti con macchinario fisso e non sono applicabili per operazioni manuali di scarfatura e/o molatura.

2. Riscaldamento del semilavorato

Per i nuovi forni di riscaldamento, in fase progettuale, possono essere considerate una combinazione delle seguenti tecniche:

- Adozione di idonee misure costruttive volte ad incrementare la durata del materiale refrattario, riducendone la possibilità di danneggiamento.
- Adozione, per i forni a marcia discontinua, di refrattari a bassa massa termica in modo da ridurre le perdite legate all'accumulo di energia ed i tempi necessari per l'avviamento del forno.
- Riduzione delle sezioni di passaggio dei materiali in ingresso ed in uscita dal forno (riduzione apertura porte, adozione di porte multi-segmento, etc), in modo da ridurre le perdite energetiche dovute alla fuoriuscita dei fumi e l'ingresso di aria esterna nel forno.
La riduzione dell'apertura porte, ossia il mantenimento di una minima apertura delle porte necessaria per il caricamento del materiale da riscaldare, può essere operata anche sugli impianti esistenti.

- Adozione di misure (ad es. supporti a bassa dissipazione di temperatura detti “cavalieri”, guide inclinate nei forni a longheroni, sistemi di compensazione) per ridurre fenomeni di raffreddamento localizzato sulla base del materiale in riscaldamento (skid marks), dovuti al contatto del materiale stesso con i sistemi di supporto all’interno del forno.
- Adozione di un sistema di controllo della combustione.
In particolare, il controllo del rapporto aria/combustibile è necessario per regolare la qualità della combustione, poiché assicura la stabilità della fiamma ed una combustione completa. Inoltre più il rapporto aria/combustibile è vicino a quello stechiometrico, più il combustibile è sfruttato in modo efficiente e più sono basse le perdite energetiche nei fumi.
Un sistema di controllo della combustione può essere applicabile anche agli impianti esistenti.
- Scelta del tipo di combustibile per il riscaldamento dei forni (in funzione della disponibilità) ai fini della riduzione delle emissioni di SO₂.
In un ciclo integrato possono essere utilizzati i gas di recupero siderurgici (gas di cokeria, gas di altoforno, gas di acciaieria), a volte miscelati con gas naturale. Nel caso di utilizzo del gas di cokeria, quest’ultimo può essere sottoposto, ove possibile, ad un processo di desolfurazione presso gli impianti di produzione (cokerie).
I combustibili liquidi sono in particolare utilizzati in caso di indisponibilità dei combustibili gassosi.

A seconda del combustibile utilizzato, le emissioni convogliate in atmosfera raggiungibili di SO₂ sono:

- Gas naturale	SO ₂ ≤ 100 mg/Nmc
- Miscele di gas di recupero siderurgici con gas naturale	SO ₂ ≤ 400 mg/Nmc
- Olio combustibile (S ≤ 1%)	SO ₂ ≤ 1700 mg/Nmc

- Adozione di bruciatori radianti sulla volta del forno, che per effetto della veloce dissipazione dell’energia, producono livelli emissivi di NOx più bassi.
- Adozione di bruciatori a basso NOx (low-NOx).
I bruciatori low-NOx sono progettati per ridurre il livello delle emissioni di NOx.
I principali criteri di progettazione su cui tali bruciatori si basano sono: riduzione della temperatura di picco della fiamma, riduzione del tempo di permanenza nella zona ad alta temperatura e riduzione della disponibilità di ossigeno nella zona di combustione, che potenzialmente possono determinare una riduzione delle emissioni di NOx di circa il 65% rispetto ai bruciatori convenzionali.
Sugli impianti esistenti risulterebbe possibile convertire i bruciatori convenzionali in bruciatori a basso NOx modificando i diffusori.
I forni di riscaldamento non funzionano in condizioni stabili durante l’avviamento e lo spegnimento; durante queste fasi, i livelli emissivi possono aumentare, così come pure quando i bruciatori operano a portate inferiori a quelle di targa (in funzione dell’apporto calorico richiesto).
Il preriscaldamento dell’aria comburente, che è una tecnica applicata, ove possibile, per aumentare l’efficienza energetica dei forni (e quindi per abbassare il consumo di combustibile e le emissioni degli altri inquinanti di un processo di combustione), comporta concentrazioni di NOx più elevate nelle emissioni dei forni che ne sono dotati.

Le prestazioni raggiungibili con tali tecniche in condizioni normali sono le seguenti:

- emissioni convogliate di NO_x al camino di convogliamento in atmosfera dei fumi di combustione, in funzione della temperatura di preriscaldamento dell'aria comburente:

Temperatura di preriscaldamento aria comburente	NO _x (mg/Nmc) – 3% O ₂
< 200 °C	< 400
300 °C	fino a 450
400 °C	fino a 600
500 °C	fino a 800
700 °C	fino a 1500
800 °C	fino a 2300
900 °C	fino a 3500
1000 °C	fino a 5300

La tecnica di denitrificazione dei fumi tramite sistema SCR (in cui gli NO_x vengono ridotti cataliticamente, per mezzo di ammoniaca, in N₂ ed H₂O) o sistema SNCR (in cui la riduzione degli NO_x avviene a temperature più elevate, senza l'aiuto di un catalizzatore), è raramente applicata ed inoltre presenta notevoli problemi in quanto:

- non è un sistema integrato col processo;
 - si ha un aumento dei consumi energetici, in quanto i fumi, per consentire le operazioni di conversione degli ossidi di azoto, devono essere rilasciati e/o riscaldati ad una temperatura di 300-400°C per il sistema SCR e ad una temperatura di 850-1100°C per il sistema SNCR;
 - il trasporto e lo stoccaggio dell'ammoniaca introduce rischi aggiuntivi dal punto di vista ambientale e per la sicurezza;
 - è necessario sostituire periodicamente il catalizzatore nel sistema SCR con evidenti riflessi sotto il profilo ambientale ed economico;
 - sul catalizzatore (nel sistema SCR) viene a formarsi il nitrato di ammonio (NH₄NO₃) che ha caratteristiche esplosive e determina, unitamente al particolato, un decadimento dell'efficienza di conversione;
 - si hanno problemi di efficienza di riduzione degli NO_x in particolare su forni in cui la produttività ed i profili di temperatura non sono stabili;
 - sono necessarie specifiche condizioni di temperatura e flusso volumetrico dei fumi, che non sempre possono essere raggiunti dagli impianti;
 - l'ammoniaca in eccesso trascinata dal reattore può reagire con gli ossidi di zolfo contenuti nei fumi di combustione, portando alla formazione di particelle di solfato o bisolfato di ammonio, che possono provocare fouling, erosione e corrosione delle superfici degli impianti;
 - l'installazione è difficoltosa per problemi di lay-out;
 - i costi di esercizio ed installazione sono elevati.
- Recupero del calore dei fumi di combustione per preriscaldare all'interno dei forni continui, attraverso una zona di preriscaldamento, il materiale caricato nei forni.
In fase progettuale, può essere prevista all'interno del forno una zona di preriscaldamento del materiale caricato, in modo da assicurare un adeguato recupero di calore dai fumi di combustione.
 - Recupero del calore dei fumi di combustione mediante sistemi recuperativi o sistemi rigenerativi per preriscaldare l'aria comburente.

I sistemi recuperativi sono costituiti da scambiatori di calore, installati prima dell'immissione in atmosfera dei fumi di combustione, che consentono il trasferimento del calore continuamente dei fumi caldi all'aria comburente in ingresso, o da bruciatori che hanno questi scambiatori già incorporati singolarmente.

Con questi sistemi si possono ottenere temperature di preriscaldamento dell'aria comburente fino a 600°C.

Con l'utilizzo di sistemi recuperativi si possono ottenere risparmi energetici di circa il 25 % e riduzioni potenziali delle emissioni specifiche di NOx fino al 30% (50% in combinazione con i bruciatori low-NOx).

I sistemi rigenerativi sono costituiti da due scambiatori di calore (rigeneratori) contenenti, ad esempio, materiale ceramico: mentre un rigeneratore viene riscaldato per contatto diretto con i fumi caldi della combustione, l'altro ancora caldo riscalda l'aria comburente. Dopo un certo periodo il processo è invertito scambiando i flussi.

Con questi sistemi si possono ottenere temperature di preriscaldamento dell'aria comburente più elevate (superiori a 600°C).

I sistemi rigenerativi possono essere, in particolare, utilizzati in forni discontinui, in quanto generalmente non sono dotati di una zona di preriscaldamento.

Un problema dei sistemi rigenerativi è la sensibilità alla polvere, che, se generata in notevoli quantità dal processo di combustione, può provocare la precoce sostituzione dei riempimenti ceramici.

I costi di investimento sono elevati (sistema di rigenerazione e bruciatori più costosi).

Con l'utilizzo dei bruciatori rigenerativi si possono ottenere risparmi energetici del 40 – 50 % e riduzioni potenziali delle emissioni specifiche di NOx fino al 50%.

In alternativa e ove vi è la necessità di vapore per il laminatoio a caldo, può essere possibile che il calore recuperato dai fumi di combustione sia utilizzato per la produzione di vapore o altro.

- Adozione della carica calda o della laminazione diretta.

In tal modo può essere sfruttato il contenuto termico residuo dei prodotti semilavorati provenienti dalla colata continua, caricandoli ancora caldi nei forni di riscaldamento, riducendo i tempi di stoccaggio del materiale e/o intervenendo, ove possibile, sull'isolamento del materiale, che comunque comporta notevoli problemi nella gestione degli stoccaggi e ne penalizza pesantemente la capacità, tale da rendere impraticabile la sua applicazione.

La laminazione diretta, rispetto alla carica calda, prevede temperature di infornamento più elevate.

L'applicabilità di queste tecniche è possibile per i nuovi stabilimenti in quanto è strettamente legata al layout degli impianti, dal momento che è indispensabile avere gli spazi necessari e che la colata continua ed i forni di riscaldamento siano vicini.

Inoltre queste tecniche possono essere applicate solo se la qualità superficiale è tale da non richiedere il condizionamento del semilavorato e solo se i programmi produttivi tra la colata continua e l'impianto di laminazione a caldo possono essere adeguatamente coordinati.

3. Discagliatura

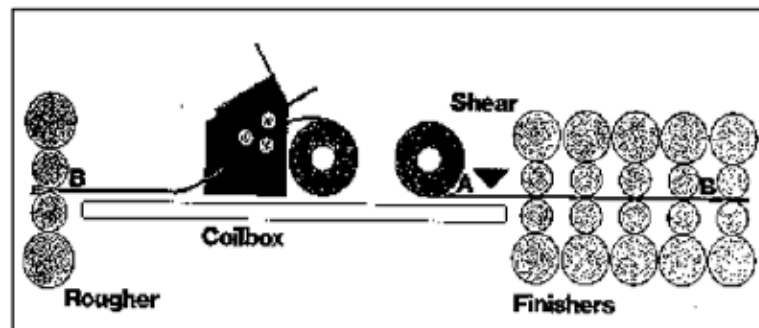
- Riduzione dei consumi di acqua tramite l'utilizzo di sensori che determinano quando il materiale entra o esce dall'impianto di discagliatura; in questo modo le valvole dell'acqua vengono aperte quando è effettivamente necessario ed il volume d'acqua è quindi adattato alla necessità.

4. Laminazione

- Adozione di una delle seguenti tecniche per ridurre le perdite energetiche durante il trasporto del materiale dal treno sbozzatore al treno finitore:
 - utilizzo del Coil Box (e del Coil Recovery Furnace).

Nel Coil Box, il prodotto intermedio che esce dal treno sbozzatore viene avvolto in un coil, che successivamente viene posizionato su un dispositivo di svolgimento, svolto ed inviato al treno finitore.

Nel caso di brevi rallentamenti della linea a valle del Coil Box, il coil può rimanere in attesa per un tempo maggiore; inoltre nel caso di interruzioni lunghe il coil può essere conservato nei cosiddetti forni di recupero del calore “Coil Recovery Furnace”, dove viene ripristinata la temperatura di laminazione.



Coil Box

L'utilizzo del Coil Box, che consente una distribuzione di temperatura lungo la barra di trasferimento più uniforme e che implica l'utilizzo di carichi minori per la laminazione al treno finitore, determina tuttavia un fabbisogno aggiuntivo di energia legato alle fasi di avvolgimento e svolgimento del coil e di riscaldamento nel Coil Recovery Furnace. La riduzione dei consumi energetici è minore nel confronto con impianti di laminazione in cui il tempo di esposizione all'aria della barra di trasferimento non è elevato.

L'utilizzo del Coil Box può portare un peggioramento della qualità del prodotto per effetto di un aumento dei difetti superficiali ed inoltre possono esserci effetti di riduzione della capacità produttiva del laminatoio.

Questa tecnica può essere applicata ai laminatoi semicontinui per la produzione di nastri e se le condizioni impiantistiche e di prodotto lo permettono.

- utilizzo degli scudi termici sulle tavole di trasferimento.

La tavola a rulli di trasferimento dal treno sbozzatore al treno finitore può essere equipaggiata ove possibile con scudi termici per ridurre le perdite di temperatura del materiale mentre è trasportato e per diminuire la differenza di temperatura tra la testa e la coda del materiale in ingresso al treno finitore.

Tuttavia gli scudi termici comportano un rischio più elevato di difetti superficiali, in quanto viene favorita la formazione di scaglie a seguito della temperatura più elevata a cui viene mantenuta la barra di trasferimento; inoltre gli scudi termici comportano costi di gestione molto elevati, in quanto possono essere danneggiati facilmente dalle barre di trasferimento incurvate.

Inoltre per gli impianti esistenti l'utilizzo di scudi termici non risulterebbe possibile in quanto le tavole a rulli esistenti potrebbero non sopportare le maggiori temperature ed inoltre la riduzione dei consumi energetici non giustifica gli elevati costi di installazione e gestione.

L'utilizzo di scudi termici non è possibile ove, per motivi metallurgici, sono richieste temperature più basse al treno finitore.

- Adozione di una delle tecniche seguenti, per la riduzione delle emissioni di polveri durante la laminazione nel treno finitore:

- spruzzaggio d'acqua alle gabbie finitrici con trattamento delle acque al sistema di depurazione delle acque di laminazione. Tale sistema permette di abbattere alla fonte le eventuali emissioni di polveri.
- sistema di captazione dell'aeriforme alle gabbie del treno finitore (in particolare le ultime gabbie) con depolverazione tramite filtri a tessuto. Per aeriformi particolarmente umidi, in alternativa ai filtri a tessuto, può essere adottato un sistema di abbattimento ad umido.

Le prestazioni raggiungibili con tali tecniche in condizioni normali sono le seguenti:

- emissioni convogliate di polveri al camino di convogliamento in atmosfera: $\leq 20 \text{ mg/Nmc}$

Nei laminatoi che operano a bassa velocità e/o con aree superficiali del prodotto ridotte, le emissioni sono già limitate, e quindi non è necessaria l'adozione dei suddetti sistemi di abbattimento.

- Adozione di un sistema di captazione e depolverazione mediante filtri a tessuto per la riduzione delle emissioni di polveri che possono derivare dalla spianatura dei nastri.

Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:

- emissioni convogliate di polveri al camino di convogliamento in atmosfera: $\leq 20 \text{ mg/Nmc}$

- Adozione delle seguenti tecniche relative alla tornerie cilindri:

- utilizzo di sgrassatori a base d'acqua, fin quando è tecnicamente accettabile in funzione del grado di pulizia richiesto; nel caso di utilizzo di solventi organici, sono da preferire quelli privi di cloro;
- trattamento, ove possibile, dei fanghi di molatura tramite separazione magnetica, per recuperare le particelle metalliche e consentirne il successivo avvio a riciclo/recupero;
- smaltimento appropriato dei rifiuti derivanti dalle lavorazioni (ad es. grasso rimosso dai cuscinetti, mole consumate, residui di molatura, cilindri di laminazione consumati, etc.);
- trattamento degli effluenti liquidi (provenienti dai raffreddamenti, dagli sgrassaggi, dalla molatura) negli impianti di trattamento dell'acqua previsti per la laminazione a caldo.

- Adozione delle seguenti tecniche relative al trattamento acque:
 - riduzione del consumo e dello scarico dell'acqua utilizzando, per quanto possibile, circuiti a ricircolo (rapporti di ricircolo superiori al 95% sono raggiungibili);
 - trattamento delle acque di processo contenenti scaglie ed olio e riduzione dell'inquinamento negli effluenti utilizzando una combinazione appropriata di singole unità di trattamento, come ad esempio fosse scaglie, vasche di sedimentazione, filtri, torri di raffreddamento.
Le prestazioni raggiungibili in condizioni normali sono le seguenti:
 - concentrazioni allo scarico dopo trattamento:
 - solidi sospesi: ≤ 20 mg/l
 - olio: ≤ 5 mg/l
 - Fe: ≤ 10 mg/l
 - Cr_{tot}: ≤ 0.2 mg/l (≤ 0.5 mg/l, per gli acciai legati ed inossidabili)
 - Ni: ≤ 0.2 mg/l (≤ 0.5 mg/l, per gli acciai legati ed inossidabili)
 - Zn: ≤ 2 mg/l
 - adozione delle seguenti misure per prevenire l'inquinamento delle acque da parte di idrocarburi:
 - accurata manutenzione di tenute, guarnizioni, pompe, ecc...;
 - utilizzo di idonei cuscinetti per i cilindri di lavoro e di appoggio ed adozione di indicatori di perdite sul sistema di lubrificazione.
 - raccolta e trattamento delle acque di drenaggio;
 - riciclo nel processo siderurgico o vendita per altri riutilizzi delle scaglie di laminazione derivanti dagli impianti di trattamento dell'acqua;
 - disidratazione ed idoneo smaltimento dei fanghi oleosi;
 - utilizzo di sistemi di raffreddamento ad acqua separati e funzionanti in circuiti chiusi.

4.5 La zincatura a caldo

4.5.1 Processo Discontinuo

A) Aspetti tecnici, tecnologici ed ambientali (consumi, emissioni, scarichi, residui)

Per ciascuno degli stadi del processo vengono di seguito descritte le attività con le implicazioni di natura ambientale per cui applicare le B.A.T ai fini della prevenzione integrata dell'inquinamento.

1. Preparazione - I manufatti in acciaio vengono ispezionati al fine di garantire che siano adatti alla zincatura. I manufatti vengono appesi ad attrezzature e traverse per mezzo di ganci o legacci d'acciaio. Bulloni e minuterie sono caricati entro appositi contenitori perforati.
2. Sgrassaggio - L'eliminazione degli oli (refrigeranti, antiossidanti, lubrificanti) e grassi, depositi sulla superficie durante la produzione e l'assemblaggio dei manufatti in acciaio, si ottiene comunemente usando bagni di sgrassaggio alcalini o acidi.

I bagni di sgrassaggio alcalini contengono idrossido di sodio, carbonati, fosfati, silicati, tensioattivi superficiali che rimuovono l'olio dalla superficie del metallo attraverso l'emulsione. Le emulsioni non stabili risultanti galleggiano sulla superficie del bagno da cui possono essere agevolmente rimosse con azioni meccaniche o tramite separatori gravitazionali. La concentrazione, la temperatura del bagno e il tempo di immersione dei pezzi determinano l'efficienza del bagno di sgrassaggio. Il normale intervallo di temperature di esercizio per bagni di sgrassaggio riscaldati indirettamente è 30 - 70°C. I bagni possono avere diversa composizione. Indicativamente possono consistere di una soluzione di idrossido di sodio 1 - 10% con l'aggiunta di altri reagenti alcalini come soda, silicato di sodio, fosfati alcalini condensati e borace, nonché specifici tensioattivi, agenti di emulsione e di dispersione. A questo trattamento segue un lavaggio per evitare il trascinarsi di sostanze alcaline all'interno dei bagni di decapaggio acidi. In tal caso infatti gli agenti di sgrassaggio potrebbero abbreviare la vita del bagno di decapaggio e ridurne il tempo di riutilizzo.

I bagni di sgrassaggio acidi sono ottenuti a partire da acidi inorganici forti (come l'acido cloridrico e/o l'acido fosforico) diluiti con additivi, emulsionanti ed inibitori della corrosione. Gli agenti dello sgrassaggio acido formano di solito emulsioni di olio stabile che possono creare qualche difficoltà nella manutenzione del bagno per la loro scrematura e separazione. C'è tuttavia un vantaggio consistente nella possibilità di omissione del successivo step di lavaggio con conseguente riduzione del consumo idrico.

L'energia necessaria per portare il riscaldamento dei bagni alla temperatura di esercizio proviene da olio combustibile o da gas, a seconda delle condizioni locali di ogni impianto. In molti casi i sistemi di sgrassaggio vengono riscaldati tramite il recupero di calore esausto o da scambio di calore.

Lo sgrassaggio produce rifiuti chimici sotto forma di fluidi esausti e fanghi. La quantità di liquami esausti prodotti dallo sgrassaggio dipende dalla quantità di acciaio sottoposto a processo di sgrassaggio, e dal grado di inquinamento. La durata massima di attività della soluzione sgrassante è di solito di circa 1-2 anni ed, in taluni casi particolari, è riportato possa superare i 5 anni.

I bagni di sgrassaggio contengono, durante il loro esercizio, grassi ed oli liberi ed emulsionati.

I bagni di sgrassaggio esausti vengono sottoposti a trattamenti fisicie chimici in situ o da ditte specializzate nello smaltimento di tali rifiuti. L'emulsione viene separata in una fase ricca di olio ed in una povera di olio. La parte acquosa a basso contenuto di olio viene ulteriormente trattata, mentre quella ricca di olio deve essere smaltita secondo le vigenti normative sullo smaltimento di tali rifiuti.

I fusti di sostanze prime per lo sgrassaggio sono ricevuti e stoccati secondo le direttive dei produttori.

3. Decapaggio – Il decapaggio in acido serve a rimuovere incrostazioni, ossidi e ruggine presenti sui pezzi da sottoporre a zincatura. Il più utilizzato è l'acido cloridrico diluito, ma è possibile anche l'uso di altri acidi inorganici come l'acido solforico e, in casi particolari, l'acido fluoridrico. Un impianto di zincatura di solito comprende una serie di bagni di decapaggio con concentrazione di acido variabile.

L'acido cloridrico normalmente viene acquistato in soluzione al 28 - 33% circa e diluito fino ai 12 -16%. Per prevenire un decapaggio eccessivo dei pezzi d'acciaio e per proteggere le vasche, si aggiungono inibitori di decapaggio al bagno che diminuiscono l'aggressività nei confronti del metallo. Sono in uso presso alcuni impianti anche inibitori di evaporazione.

Durante l'esercizio delle vasche il contenuto di ferro del bagno di decapaggio aumenta mentre la quantità di acido libero diminuisce, rendendo necessario il rabbocco occasionale del bagno attraverso l'aggiunta di acido fresco. Il cloruro di ferro bivalente ha una solubilità limitata in acido cloridrico. Il decapaggio diviene impossibile in presenza di concentrazioni eccessive di $FeCl_2$, ma di solito il bagno di decapaggio viene sostituito o rigenerato prima di raggiungere questa condizione. Sono possibili soluzioni impiantistiche in cui lo sgrassaggio ed il decapaggio sono combinati in un'unica vasca. Questa pratica è totalmente distinta dal caso di operatori che sgrassano articoli con depositi d'olio meno pesanti nella vasca di decapaggio, saltando lo sgrassaggio. Ciò non può essere considerato ecologicamente compatibile dal momento che può condurre a tempi di decapaggio prolungati, volumi più grandi dei bagni conferiti a rifiuto per tonnellata di prodotto e consumo maggiore di zinco.

Il decapaggio presso l'impianto con pretrattamento aperto viene di solito effettuato a temperatura ambiente. Il consumo medio dell'acido in un decapaggio a temperatura ambiente è di circa 20kg per tonnellate di prodotto, ma è molto variabile in funzione delle condizioni superficiali dell'acciaio: un range realistico è 10-40 kg/ton.

Emissioni gassose e vapori dell'agente di decapaggio possono essere originate dai pezzi sottoposti a decapaggio e dai bagni di decapaggio in rapporto alla concentrazione e alla temperatura del bagno. L'estrazione (ad esempio l'estrazione a bordo vasca), o l'abbattimento con lo scrubber non vengono utilizzati, poiché la ventilazione generale dell'impianto mantiene la concentrazione nell'aria di HCl nel luogo di lavoro al di sotto dei limiti consentiti.

Ci sono alcuni impianti con pretrattamento chiuso che operano a temperature dell'acido più elevate (fino a circa 40°C). L'uso di questi sistemi riscaldati rende possibili tempi di trattamento minori e richiedono una minore quantità di acido. Inoltre, innalzando la temperatura del bagno di decapaggio, si può renderne possibile l'uso a concentrazioni relativamente alte di $FeCl_2$ ad esempio 175-200 g/l con il bagno a 35°C. Uno svantaggio è dato dal fatto che le emissioni e vapori generati dalle vasche di acido sono maggiori in termini relativi e, quindi, sono raccolti e, in alcuni casi, purificati da apparecchiature di abbattimento adeguate.

Le sostanze chimiche utilizzate come materie prime sono ricevute in contenitori di plastica o in fusti (per gli additivi), o vengono scaricate da autocisterne. Vengono stoccate secondo le direttive dei produttori.

I consumi di energia durante il processo di decapaggio, originati dal funzionamento di apparecchiature ausiliarie, come pompe e gru, possono essere considerati trascurabili.

Sono rifiuti generati nel decapaggio i liquidi di decapaggio esausto e i fanghi. I liquidi di decapaggio esausto sono composti di acido libero, cloruro di ferro (fino a 140/170 g Fe/t), cloruro di zinco, elementi di superficie dell'acciaio decapato e, talvolta inibitori di decapaggio. Dove lo strippaggio ed il decapaggio sono effettuati nello stesso bagno, si genera un liquido misto di decapaggio con alto contenuto di zinco e ferro. Se lo sgrassaggio è combinato con il decapaggio sono presenti oli liberi ed emulsionati.

4. Lavaggio - Il lavaggio è uno step molto importante nel processo di zincatura dal momento che prolunga la vita dei bagni di trattamento successivi, riduce la produzione di rifiuti e incrementa il riutilizzo dei sottoprodotti. Dopo lo sgrassaggio ed il decapaggio, l'acciaio assemblato viene dunque lavato-immerso in bagni d'acqua, che talvolta vengono riscaldati. L'acqua per il lavaggio può essere usata per preparare bagni freschi di lavaggio o decapaggio, come modo di riciclare acqua e ridurre lo spurgo.

A valle di queste fasi si può ancora avere un certo trascinamento di fluidi verso la vasca di flussaggio. Questo può essere causato sia dalle procedure con cui il materiale è traslato da un bagno all'altro (per esempio, uno scarso tempo di gocciolamento determina un trascinamento maggiore), sia dalle caratteristiche geometriche che possono determinare una maggiore o minore predisposizione a trattenere fluidi. Il trascinamento di acido e sali di ferro dal decapaggio all'interno dei bagni di flussaggio e oltre ancora fino alla vasca di zincatura, incrementa sia la generazione di zinco duro (matte) che il consumo di zinco.

5. Flussaggio – l'azione del flussaggio consiste sia nell'abbassare la tensione superficiale dello zinco liquido favorendo la bagnabilità della superficie dell'acciaio con lo zinco fuso e la reazione di formazione dello strato, sia di consentire un ulteriore decapaggio e la protezione dall'ossidazione che potrebbe causarsi prima dell'immersione nello zinco fuso.

Ci sono due diverse soluzioni tecnologiche:

- nella "zincatura a secco" l'acciaio viene immerso in una vasca contenente gli agenti di flussaggio (una soluzione acquosa contenente cloruro di zinco, cloruro di ammonio e Sali composti di zinco ed ammonio). La zincatura a secco prevede necessariamente la fase successiva di essiccazione e preriscaldamento;

- nella "zincatura ad umido" gli stessi agenti di flussaggio formano uno strato di sale fuso, più o meno spesso, galleggiante sulla superficie del bagno di zincatura. Le parti in acciaio da zincare vengono fatte passare attraverso lo strato di flussante all'interno del bagno di zinco. Ad immersione ultimata (dopo la reazione metallurgica dello zinco con il ferro) lo strato di sale fuso viene spostato dalla superficie del bagno e raccolto da un lato per mezzo di palette, per permettere l'estrazione dal bagno di zinco senza ulteriore contatto con il flussante. In questo caso non è necessario eseguire una fase di essiccazione e preriscaldamento.

Durante l'immersione nello zinco fuso, a temperature superiori a 200°C, il cloruro di ammonio nel flussante si decompone in NH_3 e HCl , che produce un effetto di decapaggio aggiuntivo.

Nella zincatura a secco la vasca di flussaggio viene mantenuta alla temperatura di 25-50°C. . L'energia necessaria per riscaldare il bagno di flussaggio si ottiene, in genere, recuperando il calore dai fumi di combustione del forno di zincatura.

Le concentrazioni tipiche del bagno sono: ZnCl_2 150 - 300g/l, NH_4Cl 150 - 300 g/l, densità 1,15 -1,30 g/ml, ferro disciolto < 2 g/l.

Il valore del pH dei bagni di flusso è normalmente portato approssimativamente a 4,5 per assicurare la precipitazione degli ioni ferro come idrossido di ferro trivalente. Il pH del bagno di flussaggio può comunque variare tra 1 e 5.

La concentrazione totale di sali di flussaggio (la somma di cloruro di zinco e cloruro di ammonio) e il rapporto tra cloruro di zinco e cloruro di ammonio sono entrambi molto importanti. Il cloruro di ammonio in un buon bagno di flussaggio, spesso rappresenta il 40 - 60% del sale di flussaggio. Il cloruro di ammonio assicura una veloce essiccazione ed una migliore rimozione degli ossidi di ferro dalla superficie dei pezzi, però provoca anche più fumo, ceneri e matte durante il processo di rivestimento. Quando il pretrattamento dei manufatti è insufficiente occorre una maggiore quantità di cloruro di ammonio. Il cloruro di zinco impedisce l'ossidazione della superficie dei pezzi. Questo è particolarmente importante quando il tempo di essiccazione è lungo. I bagni possono contenere anche cloruro di potassio, con un'azione di riduzione dei fumi in fase di immersione dell'acciaio nello zinco fuso.

Complessivamente, la concentrazione e la composizione del flussante non è stabilita univocamente, ma deve essere adattata alle circostanze (alle tipologie di materiale e alle esigenze dell'impianto) per l'ottenimento di una zincatura di qualità.

Il contenuto di ferro nel flussante è estremamente importante per il controllo del processo ed ha notevoli risvolti in termini di economia e ambiente. Un'alta concentrazione di ferro nel flussante (originata dal trascinarsi dai bagni di decapaggio) influenza anche la qualità del rivestimento di zinco e determina un aumento della produzione di sottoprodotti.

Le emissioni in aria dai bagni di flussaggio sono considerate trascurabili, dal momento che il bagno non contiene composti volatili, e la principale emissione è vapore acqueo. Il rifiuto dell'operazione di flussaggio è formato da liquidi di flussaggio esausti e fanghi.

I bagni di flussaggio che non vengono continuamente rigenerati, aumentano il loro contenuto di acidità e ferro durante l'utilizzo. Un riciclaggio discontinuo o continuo di soluzione di flussaggio è una pratica comune per ottenere il mantenimento di un pH ottimale e la separazione del Fe. In alcuni casi la soluzione usata viene conferita al produttore di flussante regolarmente per la rigenerazione.

L'alternativa zincatura ad umido costituisce un processo in passato utilizzato molto più frequentemente. È inadatto ad ottenere alti rendimenti produttivi ma rende possibile la zincatura di pezzi di forma particolare che nel processo a secco non sono trattabili.

6. Essiccazione e preriscaldamento - L'ulteriore essiccazione viene ottenuta in forni di essiccazione. I gas esausti provenienti dalla vasca di zincatura possono essere talvolta un'utile fonte indiretta di calore per il forno, anche se spesso si usano bruciatori supplementari.

L'essiccazione completa del manufatto permette di ridurre gli spruzzi ed le eiezioni di metallo, nel momento in cui il manufatto viene immerso nel bagno di zinco, un beneficio che si incrementa se il manufatto trattiene il calore dopo essere uscito dall'essiccatore come preriscaldamento.

7. Zincatura (rivestimento con metallo fuso) - I manufatti di acciaio sottoposti a flussaggio vengono lentamente immersi nel bagno di zinco fuso. È possibile la presenza di alliganti nel bagno di zincatura con funzione di aggiunte tecnologiche effettuate per migliorare la qualità estetica, per effettuare un controllo dello spessore in relazione alla crescita ed uniformità dello strato e, in taluni casi, per migliorare la resistenza alla corrosione dello strato.

L'acciaio reagisce con lo zinco formando un rivestimento consistente in una serie di strati di leghe ferro-zinco sovrastata da uno strato di zinco puro, quando le parti vengono ritirate dal bagno. Il tempo di immersione varia da qualche minuto per manufatti d'acciaio relativamente poco spessi, fino a 15 minuti per le parti strutturali più spessi. Alcuni manufatti di forma particolare possono richiedere tempi di immersione più lunghi.

Lo zinco fuso ha una temperatura di 440-460°C. Per applicazioni speciali il bagno di zincatura può essere gestito a temperature più elevate, giungendo all' utilizzo di vasche di ceramica, invece di vasche in acciaio. Un piccolo numero di impianti eseguono questa "zincatura ad elevate temperature", con vasche ceramiche che consentono al bagno di zinco di essere gestito alle temperature più elevate, di solito circa 530°C. Questo processo viene richiesto nel trattamento di alcune categorie di acciai e di alcuni tipi specifici di componenti.

Le dimensioni delle vasche variano notevolmente a seconda delle esigenze del mercato e del tipo di manufatti trattati.

Le vasche, inserite nel forno, si trovano a livello della pavimentazione o sottostante; esse vengono riscaldate dall'esterno, comunemente da bruciatori a gas o a gasolio. Si usa un riscaldamento con bruciatori ad immersione o con riscaldatori a cappa quando la temperatura dello zinco è superiore a 460°C con vasche ceramiche.

Il bagno di zinco di solito contiene anche una piccolissima quantità di altri metalli che sono impurità dello zinco immesso o sono aggiunti come alliganti. Una composizione di riferimento del bagno può essere (ma esistono molte variazioni da impianto ad impianto):

zinco \geq 98.0 % in peso
piombo 1.0 % in peso
ferro 0.03 % in peso
alluminio 0.002 % in peso
cadmio 0.02 % in peso
tracce di altri metalli (ad esempio stagno o rame).

L'alluminio ed il piombo sono aggiunti per la loro influenza sullo spessore e sull'aspetto esteriore del rivestimento. Talvolta si riscontra l'utilizzo di piccole quantità di nickel (0.04 - 0.06% in peso) per ottenere un aspetto più brillante e un più agevole controllo dello spessore dello strato di zincatura in caso di acciai fortemente reattivi. L'aggiunta di piombo influenza le caratteristiche fisiche dello zinco, in particolar modo la viscosità e la tensione superficiale. Ciò aiuta a bagnare l'acciaio prima della zincatura e a far defluire lo zinco dalla superficie dopo la zincatura. Il piombo può essere anche utilizzato per proteggere la vasca. In questo caso, lo zinco fuso galleggia su di uno strato di piombo fuso sul fondo della vasca. Lo stagno dà fluidità al bagno e viene a volte aggiunto al bagno in quantità maggiori (fino allo 0.5% od oltre) per ottenere particolari qualità estetiche del rivestimento di zincatura. Si può anche riscontrare la presenza di bismuto come agente di fluidificazione del bagno.

Nel caso in cui siano utilizzate vasche d'acciaio, è importante che il materiale della vasca (di solito acciaio a basso contenuto di carbonio) venga scelto correttamente al fine di ridurre gli effetti degli attacchi dello zinco, e che sia costruita per resistere agli elevati carichi idrostatici e agli stress termici generati durante il riscaldamento alle temperature di esercizio.

La temperatura di sublimazione del cloruro di ammonio, un componente del flussaggio, è inferiore alla temperatura del bagno di zinco, e questo, assieme ad altre reazioni che si

verificano, provoca fumi durante l'immersione. Per l'estrazione dei fumi le vasche di zincatura sono normalmente contenute in cabine ad aspirazione forzata, o equipaggiate con sistemi di estrazione a bordo vasca. Il flusso aspirato può essere purificato tramite filtri a tessuto. In tal caso, la polvere precipitata viene raccolta e mandata fuori per il recupero di sostanze riutilizzabili, ad esempio come flussanti. Alcuni zincatori applicano scrubber [torri di lavaggio] ed utilizzano lo scarico dello scrubber per integrare la soluzione flussante.

Bulloni e piccoli componenti vengono raccolti in un cestello perforato d'acciaio, che viene immerso nello zinco fuso secondo il medesimo procedimento. Dopo l'estrazione il cesto viene posizionato all'interno di una centrifuga. Il rivestimento di zinco in eccesso viene rimosso per mezzo della forza centrifuga. I componenti così zincati vengono tolti dal cesto e raffreddati.

La principale materia prima del processo di zincatura è naturalmente lo zinco metallico usato per il rivestimento. Il consumo totale medio di zinco per una ton di acciaio zincato è 70 Kg circa. Questo costituisce un riferimento molto grossolano, dal momento che il rapporto tra peso dello zinco e peso dell'acciaio varia notevolmente al variare dello spessore dell'acciaio rivestito. Notevole è anche l'effetto della reattività dell'acciaio (che è per lo più in relazione con il contenuto in Silicio e Fosforo dell'acciaio), per cui lo stesso spessore di substrato può provocare consumi molto variabili di zinco. Quantità estremamente alte o basse di consumo possono essere attribuite anche alla forma dell'acciaio assemblato e alla qualità del rivestimento. Il consumo di zinco è ovviamente proporzionale alla superficie rivestita e allo spessore del rivestimento.

La vasca di zincatura è una delle fonti di emissioni nell'aria. Le emissioni avvengono principalmente durante l'immersione dei manufatti. A seconda dei flussanti, le emissioni comprendono prodotti di sublimazione e vaporizzazione estremamente fini, che includono ioni cloro, ammonio e zinco, così come i composti ossido di zinco, cloruro di zinco (in minima quantità) e cloruro di ammonio. Il tipo e la quantità delle emissioni dipende dal consumo di flussante, dalla composizione del flussante e da altri fattori determinati dagli articoli da zincare (il tipo, il numero, la qualità della superficie), e il loro pretrattamento (sgrassaggio, decapaggio, lavaggio e essiccazione). Alcune fonti riportano che la dimensione delle particelle igroscopiche è molto piccola, per la maggior parte minore di 1 μm , mentre altri riportano che la media dimensione delle particelle è 30 μm , e solo circa il 5% è inferiore al μm .

Secondo alcune ricerche recentemente completate sulla distribuzione delle dimensioni delle particelle emesse in aria dal bagno di zincatura non vi è alcun rischio per la salute degli operatori di zincheria per le dimensioni e la massa del particolato. La ricerca mostra che l'esposizione del personale è di bassa entità se si guarda alla massa totale, specialmente nel caso di flussanti a bassa emissione di fumi o a fumi ridotti. Inoltre la ricerca mostra che la massa delle particelle piccole (>1 μm) è la stessa sia per il flussaggi normali che per i flussaggi a basso fumo. Dunque non vi è alcuna preoccupazione per la salute sia per differenti tipi di flusso, che per la dimensione del particolato sospeso in aria.

In letteratura non sono riportati grossi motivi di preoccupazione riguardo alla salute delle maestranze.

L'ammontare di polvere emessa è strettamente correlato al consumo di agente di flussaggio.

I fumi vengono abbattuti mediante filtri a tessuto che danno luogo alla polvere filtrata. In alternativa, vengono sottoposti ad abbattimento in torri di lavaggio (scrubber), dando luogo a fluido acquoso che viene normalmente trattato. In aggiunta alla polvere, può avere luogo l'emissione di piccoli volumi di sostanze volatili, come acido cloridrico e cloruro di ammonio, provenienti dalla decomposizione dell'agente di flusso e dalla ricombinazione del cloruro di

ammonio come particolato sospeso in aria. Inoltre lo sfruttamento dei combustibili per il riscaldamento del forno di zincatura comporta emissioni di prodotti di combustione come la CO₂; nell' utilizzo di gasolio ci possono essere emissioni di CO, NO_x, ed SO_x.

I ventilatori e bruciatori per la combustione possono produrre rumore.

Durante l'immersione si generano sottoprodotti solidi contenenti zinco come le matte, le schiumature e gli spruzzi.

Lo zinco duro (o matte) si produce nel bagno di zinco durante l'esercizio e viene causato dalla reazione dello zinco stesso con il ferro dei manufatti zincati, delle pareti della vasca e dalla reazione del ferro trascinato dal decapaggio e dal flussaggio. A causa della loro densità elevata, le matte si raccolgono sul fondo della vasca da dove vengono periodicamente rimosse. Il loro contenuto di zinco è elevato (95 - 98%). Non comportando, per il loro riutilizzo nell'industria di produzione dell'ossido di zinco, la necessità di alcun trattamento ausiliario ed essendo individuate e descritte dalla normativa UNI sui rottami di zinco, le matte sono considerate materia prima secondaria.

Le schiumature (povere) di zinco (dette anche ceneri da zincatura a caldo) si formano per la reazione tra lo zinco e l'ossigeno dell'aria e tra lo zinco ed il flussante. Consistono soprattutto di ossido di zinco e cloruro di zinco con parti di ossido di alluminio se l'alluminio è usato come alligante nel bagno metallico. Avendo una densità più bassa del bagno di zincatura, le schiumature galleggiano sulla superficie e vengono schiumate prima di estrarre i manufatti immersi, di solito trascinando una certa quantità di zinco. Il contenuto di zinco, quindi, varia dal 40 al 70% e può essere recuperato direttamente in fabbrica o si può optare per il conferimento a ditte specializzate all'esterno per un riutilizzo nell'industria dello zinco secondario.

Di tanto in tanto piccole quantità di zinco vengono emesse dalla vasca sotto forma di spruzzi, risultato dell'emissione di vapore dalla superficie dei pezzi lavorati. Tali quantità aderiscono ai dispositivi di estrazione dei fumi (se presenti) dai quali vengono rimossi per il recupero del loro contenuto metallico. Lo zinco spruzzato può essere direttamente re-immesso nel bagno di zincatura o inviato all'esterno per il recupero.

8. Finitura - Dopo l'estrazione dei manufatti in acciaio dal bagno di zinco, lo zinco in eccesso viene rimosso colpendo o, in alcuni casi, scuotendo i manufatti. I manufatti vengono poi raffreddati e ispezionati. Le piccole imperfezioni della superficie vengono riparate ed i manufatti vengono sganciati e preparati per la spedizione. Dopo l'immersione a caldo, alcuni prodotti in acciaio vengono raffreddati in acqua. Il consumo relativo di acqua arriva a 10 l/t di acciaio zincato. L'acqua evapora parzialmente, il resto è riutilizzato per la preparazione dei bagni di processo. Come protezione contro la ruggine bianca, i prodotti possono essere rivestiti di sostanze sigillanti o passivanti.

In taluni casi si procede al raffreddamento dei pezzi zincati in acqua, con consumi fino a 10 l/t.

9. Strippaggio o dezincatura - Talvolta è necessario pulire le apparecchiature di sostegno dei manufatti d'acciaio dallo zinco depositato su di essi o rimuovere i rivestimenti malriusciti dei manufatti di acciaio stessi. Questa operazione viene comunemente effettuata mediante immersione in acido di decapaggio diluito.

L'operazione di strippaggio attraverso acido cloridrico genera rifiuti acidi, ma con una composizione differente da quella originata nel decapaggio. Se lo strippaggio è effettuato in un bagno acido distinto dai bagni di decapaggio, si genera cloruro di zinco relativamente non

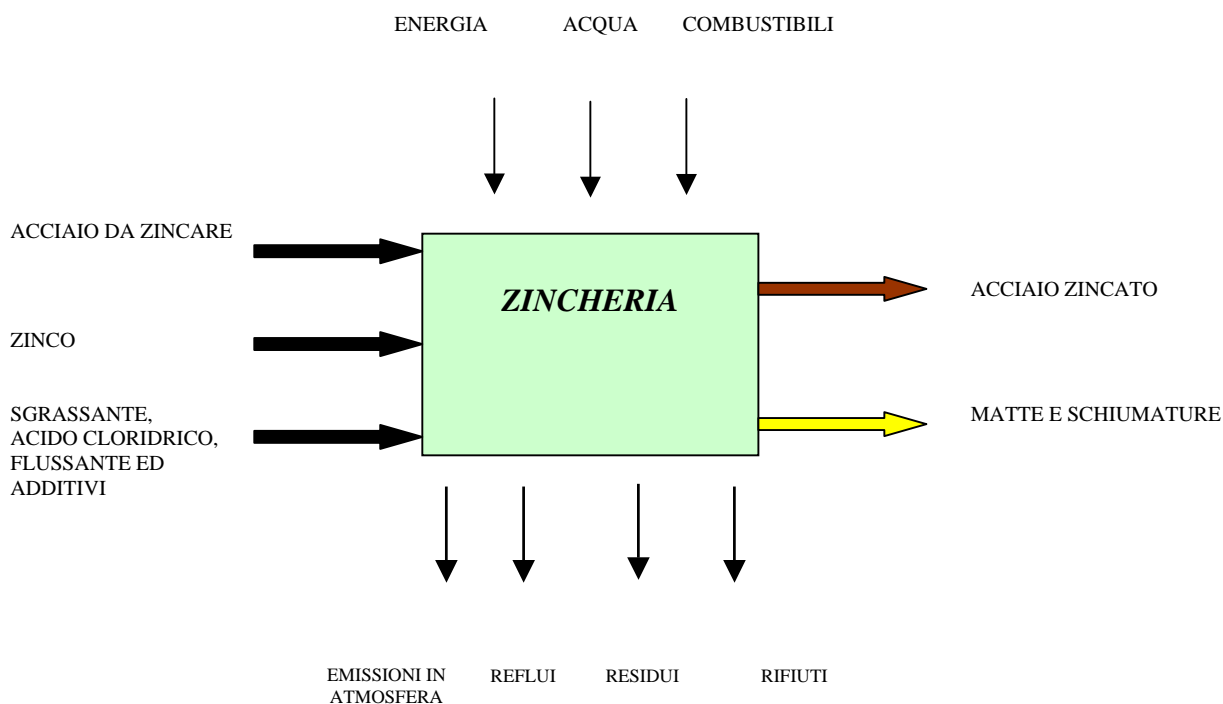
contaminato dal cloruro di ferro. Questa soluzione può essere riciclata per la rigenerazione del bagno di flussaggio.

Quando il decapaggio e lo strippaggio vengono effettuati nella stessa vasca, si creano liquidi di decapaggio che contengono cloruro di ferro e di zinco. Alcuni zincatori hanno in esercizio bagni separati di decapaggio e strippaggio perché nel loro ambiente tecnico ed economico questo favorisce il riciclaggio dello zinco contenuto in esse. Il liquido di strippaggio esausto può essere trattato per il recupero dello zinco sia sul posto che mandato all'esterno presso terzi. In alcuni casi il liquido di strippaggio esausto viene mandato per neutralizzazione e smaltimento presso terzi.

Le soluzioni contenenti cloruro di ferro e cloruro di zinco da bagni combinati di decapaggio e strippaggio, possono essere utilizzate nell'industria dei fertilizzanti, sebbene si debba prestare attenzione all'aggiunta di zinco nei terreni agricoli e non superare i livelli consentiti.

Bilancio complessivo di materia ed energia

Lo schema di flusso di materia ed energia in ingresso ed in uscita dalla zincheria è sinteticamente di seguito rappresentato:



I principali sottoprodotti nel normale esercizio sono costituiti da schiumature povere di zinco e matte prodotte durante l'immersione dell'acciaio nel bagno di zincatura. I principali residui sono costituiti dai fanghi derivanti dai sistemi di trattamento dei bagni di sgrassaggio, decapaggio, lavaggio e flussaggio e da polveri e fanghi derivanti dai sistemi di abbattimento a filtri di stoffa o torri di lavaggio (scrubber). Altri residui sono quelli derivanti da attività di manutenzione quali ad esempio refrattari a fine ciclo, rottame, ecc o legacci di acciaio (filo di ferro rottame) che unitamente ai precedenti, vengono avviati a riciclo, ove possibile, e la parte rimanente viene invece ad essere smaltita.

B) Migliori tecniche e tecnologie disponibili

Di seguito, per ogni stadio del processo, vengono riportate le BAT – Migliori Tecniche Disponibili per la Zincatura Generale a Caldo, proposte a livello comunitario.

1. Sgrassaggio

Per le operazioni di sgrassaggio negli impianti di zincatura discontinua, le tecniche seguenti vengono considerate BAT:

- Installazione di uno *step* di sgrassaggio, a meno che i manufatti non siano completamente privi di grasso, cosa molto rara nella zincatura conto terzi.
- Processi di bagno ottimali per migliorarne l'efficienza, ad es. tramite agitazione.

Si possono utilizzare misure generali per controllare l'esercizio del bagno di sgrassaggio, al fine di ottimizzare tale attività, attraverso monitoraggi discontinui dei parametri del bagno, come la temperatura e la concentrazione dell'agente di sgrassaggio.

Inoltre l'efficienza dello sgrassaggio può essere migliorata incrementando il contatto tra liquido e manufatto da sottoporre a zincatura, per esempio movimentando il manufatto stesso in vasca, creando agitazione nel bagno o usando gli ultrasuoni.

- Pulizia delle soluzioni sgrassanti per allungarne la durata (tramite schiumatura, centrifuga ecc.) e riutilizzo, riciclaggio dei fanghi oleosi, ad es. termicamente.

Si distinguono generalmente due tipi di sgrassaggio: alcalino ed acido.

Negli sgrassaggi alcalini l'emulsione che si forma è instabile, l'olio e il grasso si conglomerano e formano uno strato galleggiante sulla superficie nelle aree dove non c'è movimento del fluido del bagno di sgrassaggio. Questo conglomerato può essere separato e rimosso attraverso schiumarole, tubi di drenaggio e scarico, raschi, ecc, utilizzando semplicemente la gravità come forza spingente per la separazione. Per mezzo di tali misure, con un tempo di separazione di un paio d'ore, la vita dei bagni di sgrassaggio può essere prolungata da 2 a 4 volte. I fanghi rimossi contengono oli, grassi, agenti di sgrassaggio, scaglie, ruggine, polvere, ecc. e vengono di solito smaltiti.

Ci sono altri sistemi più veloci con separatori centrifughi, che separano l'olio e l'acqua entro pochi secondi. Gocce piccolissime di olio e grasso sono separate più facilmente; la parte più ricca di olio contiene solo il 5-10% di acqua, e si evita il trascinarsi non desiderato di materiali chimici di sgrassaggio.

Tutte le misure descritte sopra per prolungare la vita dei bagni di sgrassaggio sono anche applicabili ai bagni di sgrassaggio acidi ma, a causa della formazione di emulsioni più stabili, la loro efficienza risulta ridotta. Lo sgrassaggio acido comporta la possibilità di evitare il successivo stadio di lavaggio con conseguente risparmio di acqua di processo.

- Sgrassaggio biologico con pulizia *in situ* (rimozione di grassi ed oli dalla soluzione sgrassante) tramite batteri.

L'olio ed il grasso accumulati nel bagno di sgrassaggio vengono decomposti dai micro-organismi. Il rifiuto prodotto è un fango biologico che viene drenato quotidianamente dal sistema.

Il liquido di sgrassaggio è composto di alcaloidi, fosfati, silicati e tensioattivi cationici e non-ionici. Un concentrato di questi composti chimici viene continuamente mescolato con i micro-organismi. Nella stessa vasca di sgrassaggio, viene immessa aria per mantenere attivi i processi

biologici. L'acqua è aggiunta per compensare la perdita per evaporazione, dal momento che il bagno è tenuto alla temperatura ottimale di 37°C. Il liquido proveniente dalla vasca di sgrassaggio viene fatto circolare attraverso un separatore lamellare ad una velocità di circa 1 m³/h. Nel separatore lamellare il fango accumulato, composto di un misto di micro-organismi vivi e morti (bio-fango), viene separato. Il fango (circa 10 l/giorno) viene drenato manualmente attraverso una valvola sul fondo della vasca. Il dosaggio dei componenti chimici è effettuato da pompe di dosaggio nella scatola di connessione posta a valle del separatore lamellare. Non è facile essere totalmente accurati, e un consumo eccessivo può essere comune. Il dosaggio dei composti chimici necessari è automaticamente controllato per mantenere un pH di 9,13.

2. Decapaggio e strippaggio

Per il decapaggio con HCl le tecniche seguenti sono considerate BAT per la riduzione dell'impatto ambientale:

- Monitoraggio attento della temperatura del bagno e dei parametri di concentrazione, nonché operatività entro i limiti riportati in fig. 2.1. Il decapaggio effettuato ai fini della zincatura per immersione a caldo discontinua è statico.

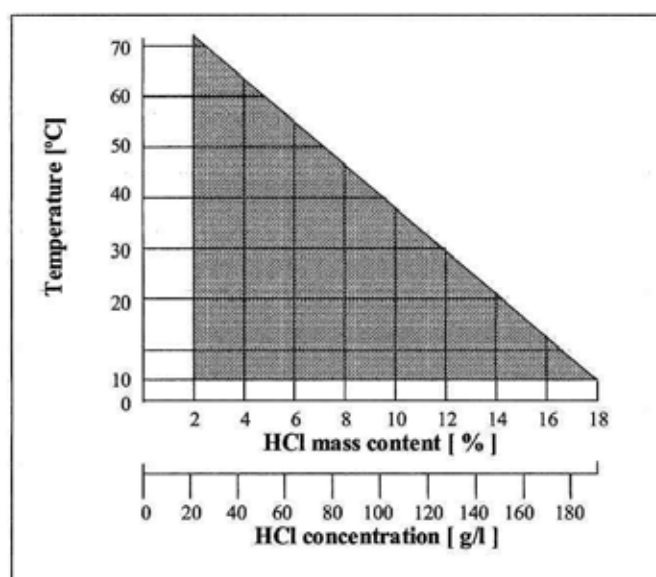


Fig. 2.1. Curva limite per l'esercizio dei bagni di decapaggio aperti.

Il contenuto di HCl nella fase gassosa al di sopra di un bagno di decapaggio dipende dalla temperatura e dalla concentrazione. Le emissioni dai bagni di decapaggio sono al di sotto di 10mg/Nm³ quando la coppia di valori (temperatura e concentrazione) è nell'area al di sotto della retta in fig. 2.1.

Importanza fondamentale nella gestione delle vasche di decapaggio ha il flusso di aria che si determina al di sopra delle vasche. Ad elevati flussi di aria (ottenuti con eccessiva estrazione o ventilazione) corrisponde sulle vasche un flusso elevato di acido verso l'atmosfera.

Infatti la soluzione di decapaggio tende rapidamente a creare delle condizioni di equilibrio di fase liquido-gas che impediscono ad altro acido di evaporare una volta raggiunta la pressione di vapore. La depressione, causata dalla estrazione eventuale, turba l'equilibrio e consente al liquido di evaporare, incrementando l'emissione e il consumo di acido. L'estrazione dovrebbe essere minimizzata. Se si effettua un controllo accurato dei parametri di processo (temperatura e

concentrazione), con condizioni operative nei limiti stabiliti in fig. 2.1., i sistemi di estrazione della fase vapore e le successive tecniche di abbattimento diventano sovrabbondanti. Le aspirazioni e conseguenti abbattimenti possono essere richiesti quando non è possibile operare nelle zone del diagramma di fig. 2.1. o quando le condizioni di ventilazione naturale lo richiedano.

Durante l'esercizio, il bagno si arricchisce in cloruro ferroso, il che determina un aumento dell'attività decapante ed anche un aumento della tensione di vapore. Devono essere tenuti in considerazione i rapporti relativi tra acidità libera e cloruro ferroso per l'ottimizzazione della gestione dei bagni di decapaggio.

- Se si richiedono operazioni al di fuori dell'intervallo di esercizio riportato in fig. 2.1., ad es. se vengono usati bagni di HCl riscaldati o a più alta concentrazione, l'installazione di un'unità di estrazione ed il trattamento dell'aria estratta sono considerati BAT (ad es. tramite scrubber). Il livello associato di emissione di HCl è pari a 2-30 mg/Nm³.

In tal caso, l'impianto, nella zona di pretrattamento (grassaggio e decapaggio), funziona all'interno di tunnel chiusi. L'alta temperatura raggiunta dall'acido consente un'attività maggiore, per cui occorrono quantità di acido minori che nel decapaggio aperto. D'altro canto le emissioni di acido non sono più trascurabili a punto che occorrono la separazione dall'ambiente esterno (ed anche interno di lavoro) e sistemi di estrazione ed abbattimento delle emissioni.

- Attenzione speciale alla reale attività del bagno di decapaggio e utilizzo di inibitori di decapaggio per evitare un sovra-decapaggio.

L'efficienza del decapaggio, e quindi il tempo necessario per il decapaggio, cambia lungo la durata del bagno. Man mano che il bagno invecchia, la concentrazione del ferro aumenta ed è necessario meno acido libero per mantenere la stessa velocità di decapaggio dell'inizio. È infatti necessaria la presenza di ioni Fe²⁺ in quantità dipendenti dall'acidità libera per ottenere l'ottimizzazione dell'attività decapante del bagno.

Un attento monitoraggio dei parametri del bagno (concentrazione dell'acido, contenuto di ferro, ecc.) può aiutare nell'ottimizzazione dell'operazione attraverso la conoscenza dei cambiamenti nel bagno e permettere procedure di esercizio diverse, come la riduzione del tempo di decapaggio per evitare il sovra-decapaggio. Parimenti cambiamenti drastici nel liquido di decapaggio, per esempio sostituendo grandi volumi del bagno, possono portare a condizioni di decapaggio che possono comportare sovra-decapaggio. Lo scarico di acido esausto e l'aggiunta di acido fresco in dosi più frequenti ma piccole evita cambiamenti drastici nelle caratteristiche del bagno e permette un esercizio più agevole.

Nella fig.2.2 i valori ottimali sono compresi nell'area grigia.

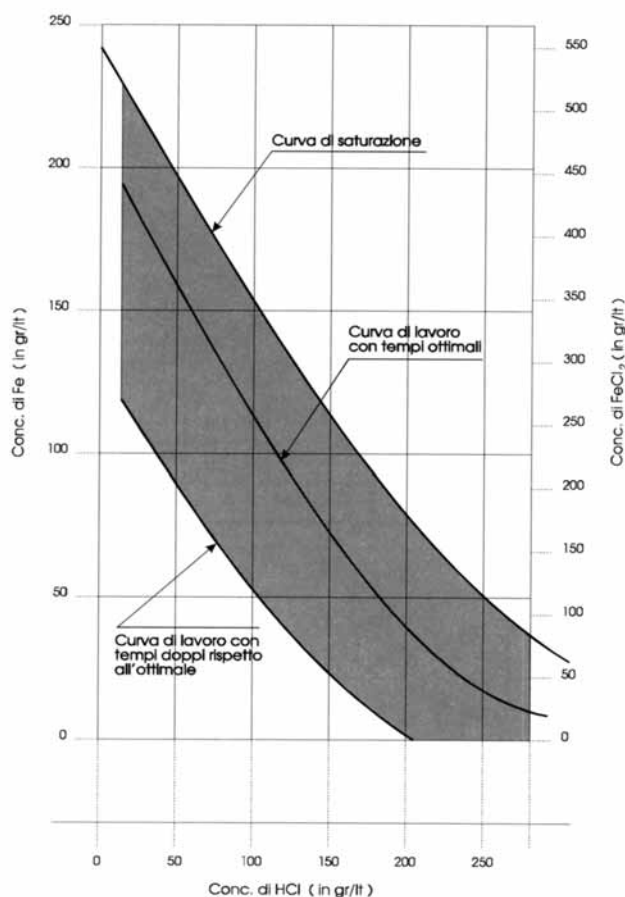


Fig. 2.2. Concentrazione di Fe — FeCl₂ — HCl per il controllo dell'attività del bagno di decapaggio

Un attento monitoraggio dei parametri del bagno (concentrazione dell'acido, contenuto di ferro, ecc.) può aiutare nell'ottimizzazione dell'operazione attraverso la conoscenza dei cambiamenti nel bagno e permettere procedure di esercizio diverse, come la riduzione del tempo di decapaggio per evitare il sovra-decapaggio. Parimenti cambiamenti drastici nel liquido di decapaggio, per esempio sostituendo grandi volumi del bagno, possono portare a condizioni di decapaggio che possono comportare sovra-decapaggio. Lo scarico di acido esausto e l'aggiunta di acido fresco in dosi più frequenti ma piccole evita cambiamenti drastici nelle caratteristiche del bagno e permette un esercizio più agevole.

Per proteggere dal sovra-decapaggio le parti di manufatto che sono già pulite e metalliche, si aggiungono alla soluzione di decapaggio gli inibitori di decapaggio. Gli inibitori possono ridurre la perdita di materiale dai manufatti anche del 98% e possono ridurre il consumo di acido. Comunque, questi inibitori organici possono avere un'influenza negativa sui successivi processi di riciclo dell'acido e la riduzione del consumo di acido attraverso l'uso degli inibitori di decapaggio deve essere ponderata attentamente attenendosi scrupolosamente alle indicazioni delle schede tecniche predisposte dai produttori.

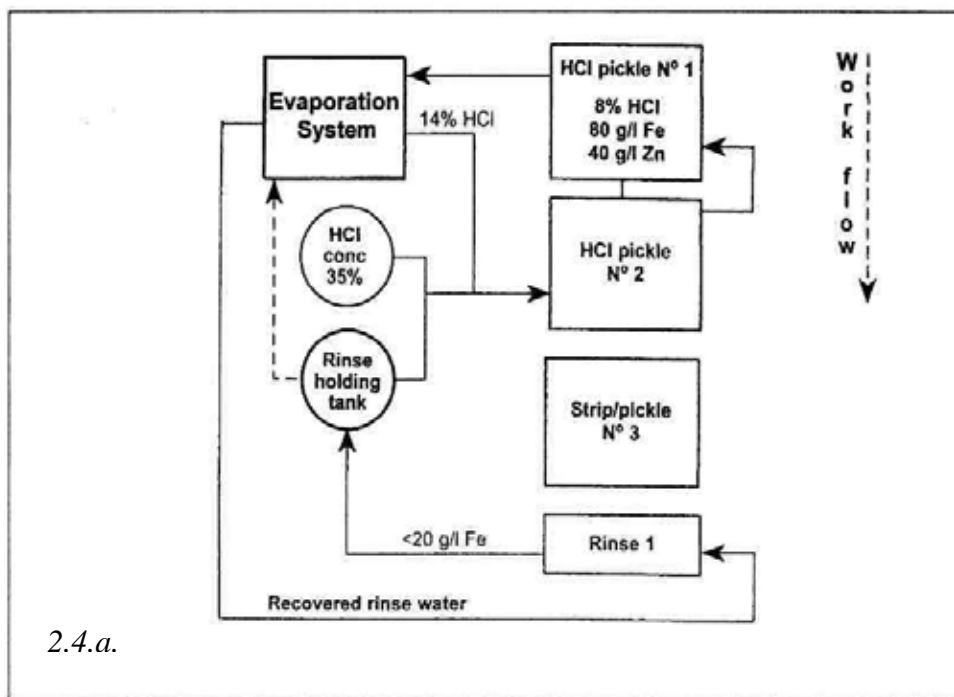
Attraverso il controllo e la gestione ottimizzata del bagno si può ottenere un consumo di acido fresco (al 33w %) fino a 10 – 15 kg per tonnellata di acciaio zincato.

- Recupero della frazione di acido libero dai liquidi di decapaggio esausti.

Vengono indicate due operazioni possibili di recupero:

–Recupero per evaporazione:

Piuttosto complesso, consiste in un evaporatore rapido a circolazione forzata con condensazione/separazione in due fasi controllate. La soluzione acida esausta viene riscaldata violentemente per estrarre l'acido e l'acqua dal rifiuto esausto. Rimane solo una soluzione di cloruro di ferro concentrata. Un esempio di processo è schematizzato in fig. 2.4.a. mentre in fig.2.4.b. sono indicate relative possibili prestazioni.



2.4.b.

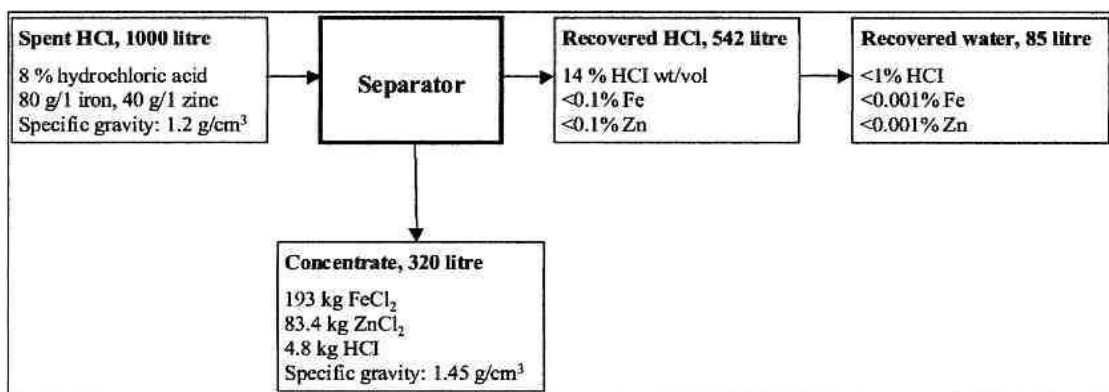
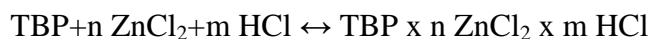


Fig. 2.4.– Un esempio di recupero di HCl per evaporazione.

Questo schema operativo comporta la generazione di una soluzione concentrata di cloruro di ferro di difficile smaltimento.

–Recupero mediante estrazione liquido – liquido

L'estrazione mediante solvente per la separazione selettiva dello zinco dagli acidi esausti di decapaggio con HCl utilizza l'agente estraente TBP tributilfosfato ed è basata sulla seguente reazione semplificata:



Lo ZnCl_2 dalla soluzione acquosa è legato come cloruro complesso insieme al HCl al composto organico, che è meno denso della fase acquosa. Quindi esso può essere separato per decantazione. Quando il carico organico è posto a contatto diretto con una nuova soluzione, la reazione complessante procede nel verso opposto (ri-estrazione) in modo che l'agente estraente organico strappato può essere riciclato e viene prodotta una soluzione diluita di ZnCl_2 . Questa soluzione viene fatta evaporare per incrementare la concentrazione di zinco. Il condensato è riciclato alla ri-estrazione ed il concentrato viene venduto. La figura 2.4.2. illustra schematicamente l'intero processo.

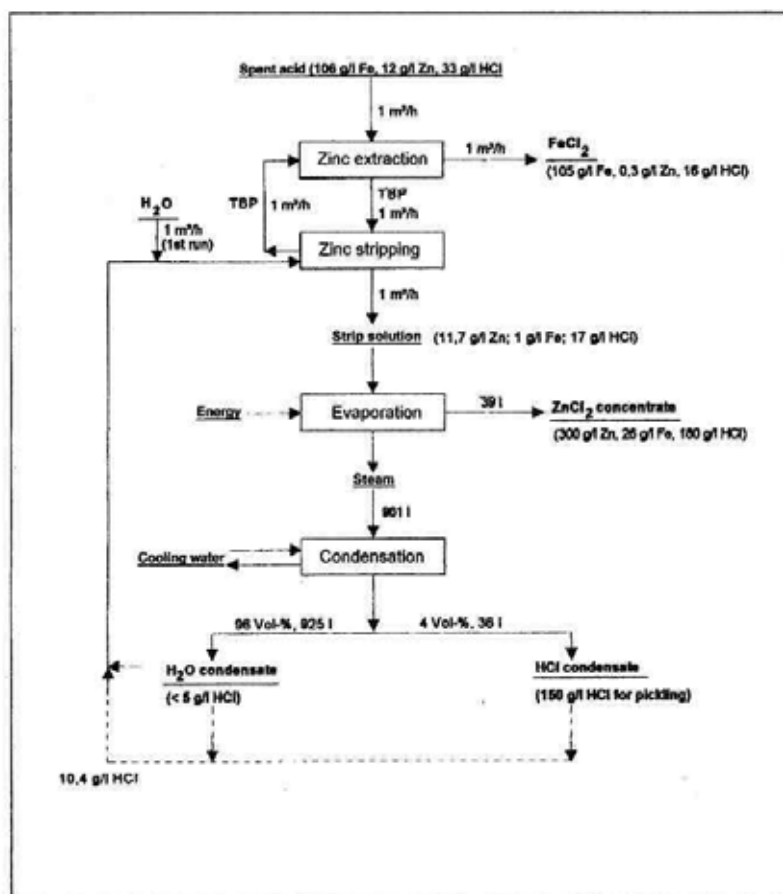


Fig. 2.4.2. – Esempio di recupero di acido mediante estrazione liquido-liquido

- Rigenerazione esterna dei liquidi di decapaggio.

Le soluzioni esauste di acido cloridrico vanno a società specializzate ed autorizzate alla neutralizzazione e smaltimento.

- Rimozione dello zinco dall'acido.

L'acido cloridrico esausto da decapaggi e strippaggi combinati con alte concentrazioni di zinco e ferro può essere processato e recuperato come bagno di flussaggio. Dopo l'ossidazione con perossido di idrogeno e neutralizzazione con ammoniaca si separa il fango di idrossido di ferro. Il liquido rimanente contiene alte concentrazioni di cloruro di zinco e cloruro di ammonio e può essere riutilizzato come soluzione flussante.

- Utilizzo di liquidi di decapaggio esausti per la produzione di flussanti.

La neutralizzazione dei liquidi di decapaggio esausti e l'uso di tali liquidi per la separazione dell'emulsione non sono considerati BAT.

- Una misura primaria per ridurre l'impatto ambientale dato dal decapaggio e dallo strippaggio è costituita dall'esercizio di vasche separate di trattamento, poiché gli acidi misti (ad alto contenuto sia di ferro che di zinco) provocano problemi nella rigenerazione o nel riutilizzo. Dal momento che non vi sono trattamenti adeguati per gli acidi misti, il decapaggio separato dallo strippaggio e il riutilizzo dei liquidi di strippaggio esausti (interni ed esterni, ad es. per il recupero dei flussanti) sono considerati come BAT sia per i nuovi impianti che per quelli già esistenti.
- Qualora non fosse possibile separare il decapaggio dallo strippaggio, ad es. per mancanza di spazio per installare un'altra vasca, il riutilizzo degli acidi misti per la produzione di flussante, tramite conferimento ad operatori esterni, è considerato come BAT.

3. Lavaggio

Generalmente è richiesto un buon drenaggio tra le vasche di pre-trattamento. Inoltre è essenziale il lavaggio dopo lo sgrassaggio e dopo il decapaggio, per evitare il trascinamento di materiali nelle vasche dei bagni successivi e per prolungare la durata di tali bagni.

E' considerato BAT:

- Il lavaggio statico o a cascata.

Dopo il decapaggio, i manufatti in acciaio sono risciacquati in una vasca di lavaggio statica.

Il lavaggio è effettuato per evitare il trascinamento all'interno del bagno di flussaggio sia di liquido di decapaggio, che altera il pH, sia di ioni Fe^{++} , che inquinano la soluzione flussante.

Si ipotizza anche la possibilità di utilizzo di un lavaggio effettuato in cascata mediante tre immersioni successive in altrettante vasche.

- Utilizzo dell'acqua di lavaggio per il rabbocco dei bagni precedenti.

Quando l'acqua giunge ad un livello di contaminazione troppo elevato per assicurare un lavaggio efficiente, viene riutilizzata nel bagno del precedente processo di decapaggio come acqua di rabbocco per le perdite causate dall'evaporazione e dal drenaggio. Con una gestione accurata e la pratica operativa, tutta l'acqua del lavaggio può essere riutilizzata nell'impianto di zincatura.

Acque di scarico possono essere prodotte in casi eccezionali, ed, in tal caso, è necessario un trattamento di purificazione.

4. Flussaggio

- Per il flussaggio, il controllo dei parametri dei bagni e la quantità ottimale del flussante usato sono importanti per ridurre le emissioni anche negli *step* successivi. Per il bagno di flussaggio, è possibile la rigenerazione della soluzione sul posto (usando H₂O₂, l'ossidazione elettrolitica e lo scambio di ioni) oppure la rigenerazione esterna, se non è possibile installare un impianto di rigenerazione in situ. Sia la rigenerazione interna che quella esterna sono considerate BAT.
- Per integrare le perdite da trascinamento e per mantenere la concentrazione dei bagni di flussaggio costante, agenti di flussaggio e acqua sono aggiunti su basi regolari. Per evitare il trascinamento di cloruri di ferro dai bagni di decapaggio, i manufatti decapati dovrebbero essere lavati accuratamente prima del flussaggio. E' necessario un accurato monitoraggio del contenuto di ferro. Pur tuttavia non è possibile evitare completamente i depositi di cloruro di ferro, cosicché la soluzione flussante deve essere sostituita o rinnovata periodicamente.
- I bagni di flussante esausti possono essere mandati fuori, di solito presso i produttori di agenti flussanti, per il riciclaggio. I sali nella soluzione del flussante esausto possono essere riutilizzati per la produzione di agenti di flussaggio.

5. Immersione nello zinco fuso.

Il problema principale della immersione nella vasca di zinco è rappresentato dalle emissioni nell'aria provocate dalle reazioni chimiche dei flussanti durante l'immersione.

Le tecniche seguenti sono considerate BAT:

- Cattura delle emissioni tramite cabina o tramite estrazione a bordo vasca, seguita da abbattimento della polvere (tramite filtri a manica o *scrubber* ad umido). Il livello di polvere associato con queste tecniche è <5 mg/Nm³.

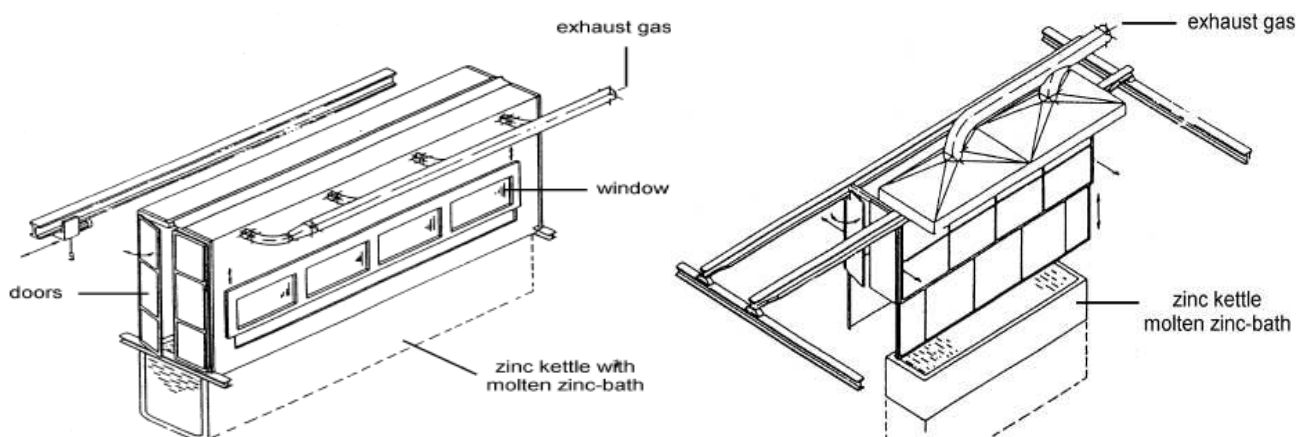


Fig. 5.1.– a) esempio di cabina fissa – b) esempio di cabina mobile solidale al bilancino.

Le estrazioni a bordo vasca in combinazione avvengono per mezzo di cappe laterali a bagno aperto (Fig. 5.2.).

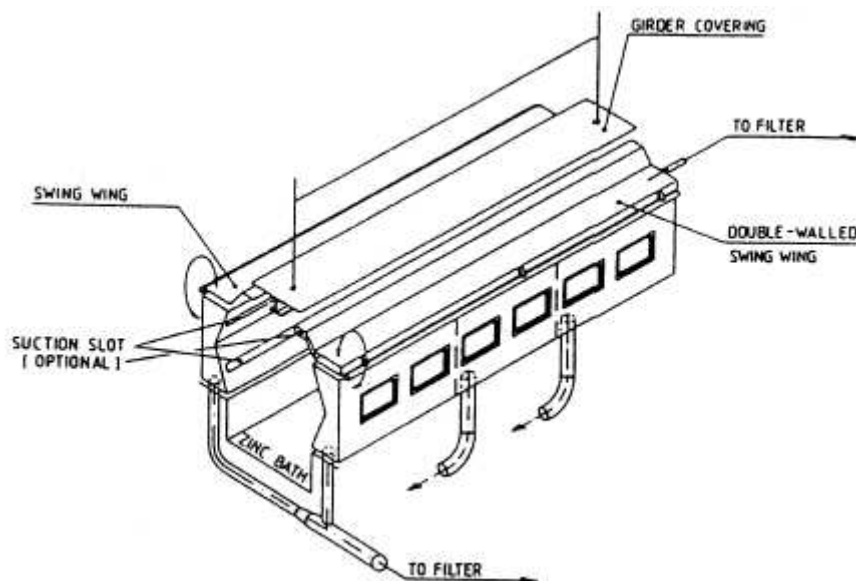


Fig. 5.2. – Esempio di estrazione a bordo vasca.

- Riutilizzo interno o esterno della polvere raccolta per la produzione di flussanti. Poiché questa polvere può raramente contenere diossina a bassa concentrazione, per problemi nell'impianto (manufatti zincati precedentemente non ben sgrassati), solo i processi di recupero che rendono gli agenti flussanti liberi da diossina sono considerati BAT.
- Sebbene le opportunità di risparmio di energia dal trasferimento di calore dai gas combusti dalle vasche di zincatura siano limitate, a causa dei bassi volumi e delle relativamente basse temperature (450°C), è buona norma recuperare il calore da questa fonte per riscaldare o l'acqua usata altrove nell'impianto, o l'aria per l'essiccazione.

Un sistema di scambiatori a tubo e mantello può essere impiegato per recuperare calore dai fumi di combustione e trasferirlo alle soluzioni di flussaggio e sgrassaggio, sovente riscaldate per mantenere la giusta solubilità degli agenti chimici. Per il recupero di calore destinato all'essiccatore i fumi vengono fatti passare per il forno di essiccazione prima di essere inviati al camino.

Il recupero di calore dai fumi di combustione costituisce una quota del calore necessario per le operazioni suddette, per cui l'impianto di zincatura necessita della presenza di bruciatori aggiuntivi seppure di modesta portata.

- Per tutti i rifiuti contenenti zinco (matte, zinco duro, spruzzi e schizzi), sono considerate tecniche BAT:
 - l'immagazzinamento separato
 - la protezione da pioggia e vento
 - il riutilizzo nell'industria dei metalli non ferrosi o in altri settori per il recupero delle sostanze utili che essi contengono.