

INTRODUZIONE

La tecnologia di produzione dell'acciaio, in particolar modo nei paesi industrializzati, è molto incentrata sul raggiungimento di alti standard qualitativi, sia in termini di processo che di prodotto. Non meno importante è la rincorsa continua verso l'aumento della capacità produttiva. Ne consegue una radicale ristrutturazione del processo di fabbricazione dell'acciaio. Negli ultimi anni sembrano aver perso quota le macroaree concepite per la realizzazione del ciclo integrale dell'acciaio; godono invece di grande vitalità siti produttivi concentrati in cui si mettono in pratica le più moderne innovazioni in termini di tecnologia e di organizzazione di produzione.

Attraverso successive fasi, l'industria siderurgica si è adeguata alle esigenze di ogni periodo storico, diventando ogni volta fattore di innovazione e di progresso. Le nuove tecnologie hanno fatto il loro ingresso garantendo livelli più alti di produttività, migliori condizioni di sicurezza, maggiore attenzione alla tutela dell'ambiente. La risorsa umana, ormai largamente svincolata dal lavoro manuale, attraverso avanzati sistemi informatici, è impegnata a programmare, realizzare, controllare la fabbricazione del prodotto, la sua qualità, l'affidabilità degli impianti, l'uso efficiente dei fattori di produzione.

Fondamentale per realizzare questi mutamenti tecnologici è il costante impegno negli investimenti e nella ricerca che consente alla siderurgia di essere protagonista anche nell'attuale fase di transizione post-industriale.

Nel corso di questa Tesi, si cercherà di dare una conoscenza semplice ma completa delle tecnologie di produzione dell'acciaio dalla colata al raggiungimento del prodotto finale, soffermandosi in particolar modo sullo sviluppo tecnologico che si è verificato nel corso degli anni.

CAPITOLO 1

LA SOLIDIFICAZIONE DELL'ACCIAIO

1.1 – GENERALITA'

Al termine dello stadio di elaborazione dell'acciaio liquido, finalizzato alla regolazione della composizione chimica, dello stato inclusionale e della temperatura, la solidificazione dell'acciaio in forma di semilavorati consente di avviare la seconda parte del ciclo, dedicata alla fabbricazione di prodotti con morfologia, dimensioni e proprietà fisico-meccaniche adatte all'impiego previsto.

La solidificazione avviene colando l'acciaio liquido della siviera in contenitori di ghisa di forma semplice ("lingottiere"), dai quali i lingotti vengono estratti in un secondo tempo; o in alternativa per colata continua in una macchina che consente di estrarre una barra con "crosta" solida e cuore liquido da una speciale lingottiera a fondo aperto.

1.2 – SVILUPPO STORICO DEL PROCESSO DI COLATA DELL'ACCIAIO

1.2.1 – La colata in lingotti

Questo metodo tradizionale, ormai poco usato, consiste nel distribuire l'acciaio liquido della siviera in una serie di lingottiere di sezione quadrata, tonda, rettangolare o altro, in funzione del prodotto programmato. I lingotti

prodotti con questo tipo di colata vengono poi lavorati, fino ad ottenere le forme e le dimensioni richieste.

Per il colaggio, la siviera è attrezzata con uno scaricatore in refrattario a forma di tubo, alloggiato nel rivestimento del fondo; il foro di colata viene chiuso da un sistema a cassetto che può scorrere con movimento alternativo.

Le lingottiere sono di ghisa, ottenute per fusione e dotate di una leggera conicità per favorire l'estrazione del lingotto. Il peso dei lingotti è molto variabile a seconda dell'unità produttiva.

La tecnica di colaggio può essere di due tipi: diretta o in sorgente, come schematizzato in Figura 1.

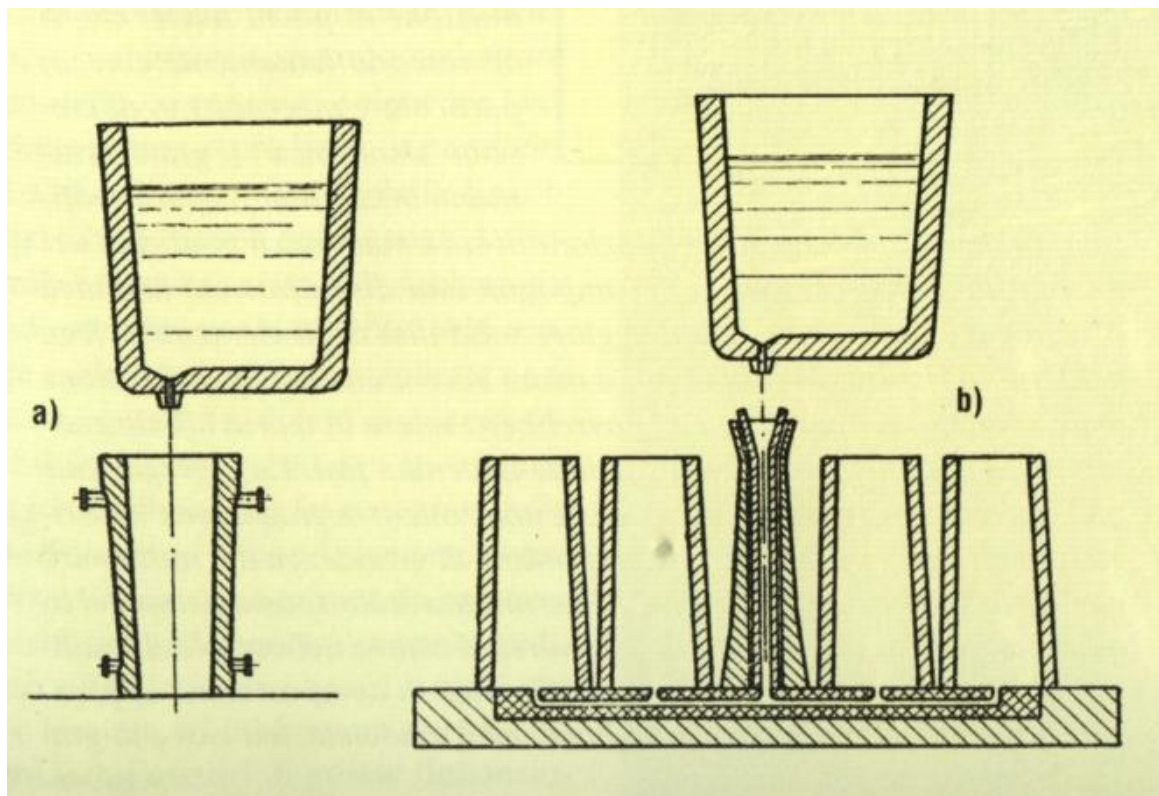


Figura 1 – Descrizione della colata in lingotti: a) Colaggio diretto; b) Colaggio in sorgente.

Nel primo caso, i lingotti vengono riempiti uno alla volta versando l'acciaio dall'alto; nel secondo, il riempimento avviene dal fondo: la siviera viene

posizionata a “colonna” al centro di una placca collegata da una serie di condotti a un gruppo di quattro o più lingottiere.

Il procedimento in sorgente è consigliabile quando si richiede una migliore qualità superficiale ed è stato molto utilizzato negli anni passati per la produzione di acciai speciali.

La contrazione dell'acciaio che accompagna la solidificazione provoca un cono di ritiro alla sommità del lingotto che viene a contatto con l'atmosfera ed è quindi da scartare. La dimensione del cono può essere contenuta con sistemi che riducono la velocità di raffreddamento nella parte alta (“materozze”) ed è nulla quando si colano acciai effervescenti, nei quali l'evoluzione di gas favorisce un fronte di solidificazione piano.

I lingotti prodotti con questo tipo di colata vengono poi lavorati, fino ad ottenere le forme e le dimensioni richieste. Tali processi richiedono diversi stadi intermedi di riscaldamento; inoltre, ogni step del processo di formatura comporta la perdita di una certa quantità di materiale.

A causa dei numerosi svantaggi dovuti alla colata dell'acciaio in lingotti, si è fatta largo, alla fine del diciannovesimo secolo, l'idea di colare l'acciaio direttamente nelle forme e dimensioni richieste, senza dover passare per le successive lavorazioni.

1.2.2 – Introduzione della colata continua

Nel 1887 si ha la prima richiesta di brevetto per una macchina per colata continua da parte di R.M. Daelen; il suo progetto presentava già da allora molte delle caratteristiche degli impianti attuali.

Nei decenni seguenti, in particolare nel periodo tra il 1920 e il 1935, il processo di colata continua viene sviluppato per materiali non ferrosi quali il rame e l'alluminio; le macchine usate sono ancora caratterizzate da una bassa velocità di colaggio, dall'uso della lingottiera fissa e di geometria verticale.

Con tali caratteristiche, la lunghezza del pozzo liquido raramente eccedeva la lunghezza della lingottiera.

Il passo decisivo che ha reso possibile il colaggio ad alta velocità è stato l'introduzione di una lingottiera in grado di oscillare; si riuscì così ad impedire alla pelle, ancora sottile, di incollarsi alle pareti della lingottiera e di lacerarsi, provocando rovinosi "break-out" per incollamento.

Il primo serio tentativo di colare acciaio in modo continuo è stato condotto negli anni '40 contemporaneamente negli U.S.A. e in Germania. Data la bassa conducibilità dell'acciaio, la lunghezza del pozzo liquido che si poteva ottenere era maggiore di quella riscontrata nel caso dei materiali non ferrosi.

Gli impianti di colata continua per grandi produzioni si sono sempre più largamente diffusi a partire dagli anni '50 e '60. In tale periodo infatti questa nuova tecnologia si è imposta come seria alternativa ai metodi tradizionali per la produzione di acciaio. Prese piede infatti il progetto di una macchina di colata "curva" in cui la bramma uscente dalla lingottiera viene curvata e guidata in posizione orizzontale. Il primo esperimento di colata con questa metodologia venne condotto nelle acciaierie di Duisburg, dal gruppo di lavoro di Mannesmann nel 1963.

Durante gli anni '70, la percentuale di acciaio colato con la nuova tecnologia è passato dal 5 al 18% della produzione totale.

A ribadire tale successo vi sono i dati relativi alla produzione mondiale di acciaio nel periodo tra il 1979 al 1983 in cui, ad una riduzione della produzione totale, vi è un aumento costante della quota di materiale prodotto in maniera continua, fino a raggiungere un valore vicino al 60% del totale, con percentuali su scala nazionale che vanno dall'89% del Giappone, al 76.9% della R.F.T., al 39.6% degli U.S.A..

Attualmente, la percentuale di acciaio colato in continuo raggiunge il 90-95% nei paesi industrializzati.

In Figura 2 è mostrato uno schema generale dell'impianto di colata continua.

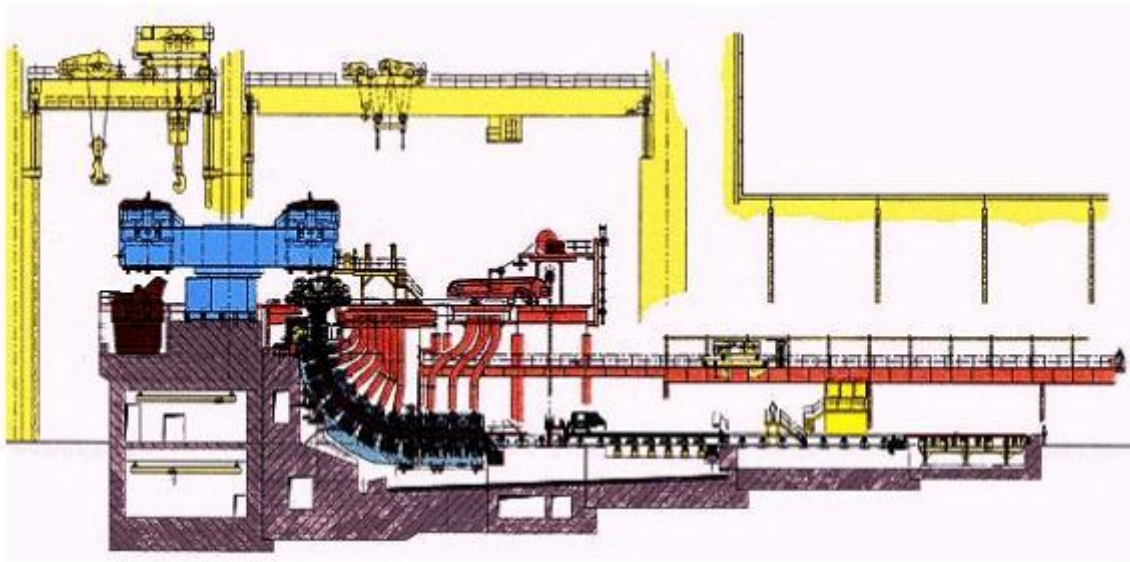


Figura 2 – Schema generale dell'impianto di colata continua.

1.2.3 – Vantaggi della colata continua

I vantaggi del processo continuo rispetto alla solidificazione in lingotti sono numerosissimi. Innanzitutto questo ciclo necessita di un solo riscaldamento del materiale: questo porta un risparmio considerevole di energia e di tempo, inoltre migliora il rendimento da liquido a solido (per la minore quantità di “spuntature” da effettuare sul semilavorato), ma soprattutto aumenta la produttività dell'impianto, specie se si considera la possibilità di colare in sequenza il contenuto di più siviere sulla stessa macchina. L'impianto inoltre è altamente automatizzato: molto spesso infatti è necessaria la presenza dei tecnici nelle sale di controllo ma non vi sono operatori sul piano di colata.

Un ulteriore vantaggio in termini di efficienza è la possibilità di realizzare un processo combinato di colata-laminazione attraverso la cosiddetta “carica calda” che consiste nell'inforamento dei semilavorati non completamente

raffreddati in modo da sfruttarne il calore; la permanenza in forno viene così sensibilmente ridotta con un conseguente risparmio energetico.

Il colaggio in lingotti comunque non è stato del tutto abbandonato. Questa tecnica è riservata agli acciai destinati a impieghi critici, che richiedono perfetta omogeneità analitica e microstrutturale (ad esempio per cuscinetti), ad acciai con un tenore di lega particolarmente alto (ad esempio per utensili), oltre naturalmente agli acciai per grandi pezzi fucinati per i quali subentrano problemi dimensionali.

1.3 – COMPONENTI FONDAMENTALI DELL'IMPIANTO DI COLATA CONTINUA

In un impianto di colata continua convenzionale, schematizzato in Figura 3, l'acciaio liquido viene colato in successione dalla siviera in un serbatoio di accumulo rivestito di refrattario (paniera), quindi in una lingottiera in rame a fondo aperto, raffreddata per circolazione forzata di acqua, il cui compito è quello di assicurare una rapida solidificazione dello strato superficiale.

La lingottiera, dotata di un moto oscillatorio verticale di frequenza opportuna, assicura un moto relativo tra le pareti raffreddate della stessa e il semiprodotto, consentendo alle polveri lubrificanti di inserirsi tra le pareti e la pelle solidificata: questo evita incollamenti dell'acciaio in solidificazione alle pareti in rame. Il fenomeno dell'incollamento, fortemente indesiderato, può provocare la rottura della prima pelle solidificata con la fuoriuscita di acciaio liquido e la conseguente interruzione del processo (break-out per incollamento).

Per favorire la comprensione del funzionamento dell'impianto, se ne analizzano di seguito in dettaglio i singoli componenti e la loro funzione.

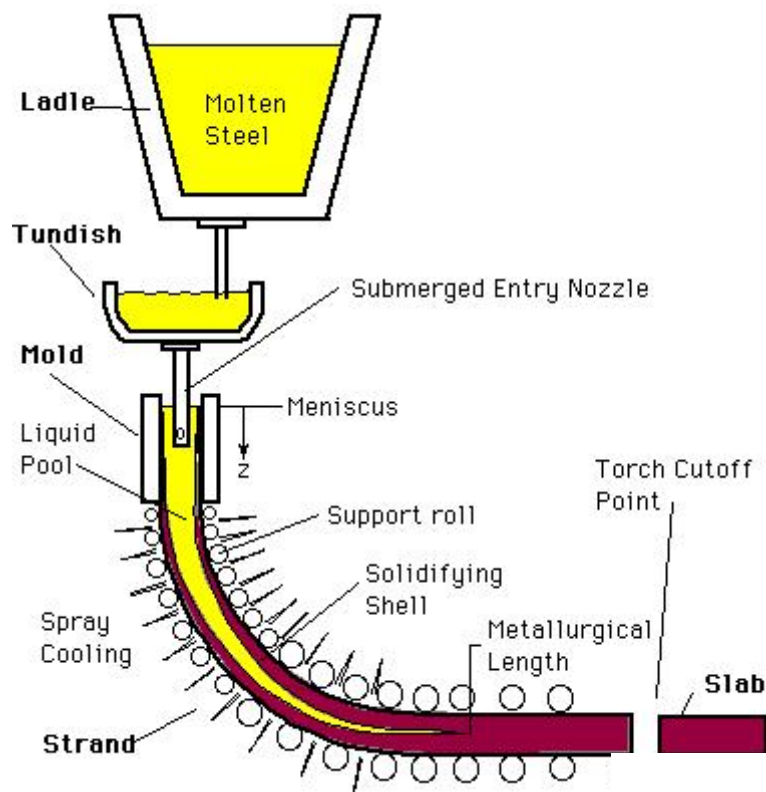


Figura 3 – Schema dettagliato dell'impianto di colata continua.

1.3.1 – Siviera (ladle)

Consiste in un recipiente in carpenteria metallica rivestito internamente con materiale refrattario. Ha la funzione di ricevere il metallo liquido spillato dai forni fusori e dall'impianto di affinazione, e di trasportarlo alla zona di colata, tramite l'ausilio di appositi carri ferroviari o carroponi.

Negli stabilimenti più avanzati, all'interno della siviera può essere predisposto un impianto di riscaldamento che mantenga l'acciaio alle temperature richieste dal processo; esso opera con un rimescolamento continuo del liquido per mezzi di "stirrer" elettromagnetici. La siviera inoltre può funzionare da reattore, in quanto al suo interno si possono indurre processi di affinazione dell'acciaio.

In tutti gli impianti in cui si cola in continuo è presente un numero di linee di colata sufficiente per esaurire tutto l'acciaio liquido contenuto in una siviera in un tempo non superiore ad un'ora. Questo limite temporale è stato fissato al fine di evitare problemi che porterebbero al cattivo funzionamento dell'impianto quali l'abbassamento eccessivo della temperatura dell'acciaio liquido in siviera o la perdita di resistenza del refrattario che ne riveste le pareti.

Il numero di linee necessario per soddisfare questa condizione viene calcolato tramite i seguenti parametri:

- Capacità dei forni che alimentano la macchina di colata continua;
- Velocità di colaggio.

1.3.2 – Paniera (tundish)

Analogamente alla siviera, la panierina presenta una struttura in carpenteria metallica rivestita internamente con materiale refrattario il cui scopo è quello di mantenere elevata la temperatura dell'acciaio liquido durante il processo e di preservare l'integrità della parte metallica esterna.

La funzione della panierina è quella di distribuire l'acciaio allo stato liquido alla macchina di colaggio costituita da una o più linee. L'esperienza ha mostrato che vi sono due parametri fortemente importanti al fine di mantenere costante la qualità del semiprodotto colato durante il cambio di siviera:

- La velocità di colaggio, che deve essere mantenuta il più possibile costante;
- Il livello di acciaio presente nella panierina, che non deve scendere al di sotto di un valore minimo predefinito.

All'interno della panierina, l'acciaio liquido viene protetto con un'apposita polvere di copertura, il cui compito è quello di mantenere il fuso ad una data

temperatura, ma soprattutto ha lo scopo di prevenirne l'ossidazione a causa del contatto con l'atmosfera esterna.

1.3.3 – Scaricatori

Il colaggio a getto libero dalla siviera alla paniera, così come quello dalla paniera alla lingottiera, è stato progressivamente abbandonato mediante l'introduzione degli scaricatori. Il loro compito è duplice: devono proteggere il flusso di acciaio liquido da una eventuale ossidazione ad opera degli agenti atmosferici ma soprattutto (in particolare nel passaggio dalla paniera alla lingottiera) ottimizzare il moto dell'acciaio, al fine di favorire un'alta uniformità della temperatura e una bassa turbolenza sul menisco della lingottiera.

Gli scaricatori possono avere diverse forme, ma sono sempre realizzati in materiale refrattario. Come le siviere e le paniere vanno sostituiti a fine sequenza allo scopo di ripristinare l'efficacia del refrattario stesso.

All'uscita dello scaricatore sommerso SEN (Submerged Entry Nozzle), il getto dell'acciaio liquido deve essere tale da non infrangersi immediatamente sulla pelle in formazione, come evidenziato in Figura 4. Se così non fosse, si avrebbe un riscaldamento localizzato non previsto sulla pelle solida, con un conseguente gradiente termico ed una eventuale riduzione dello spessore solido, fino alla totale rifusione della pelle stessa.

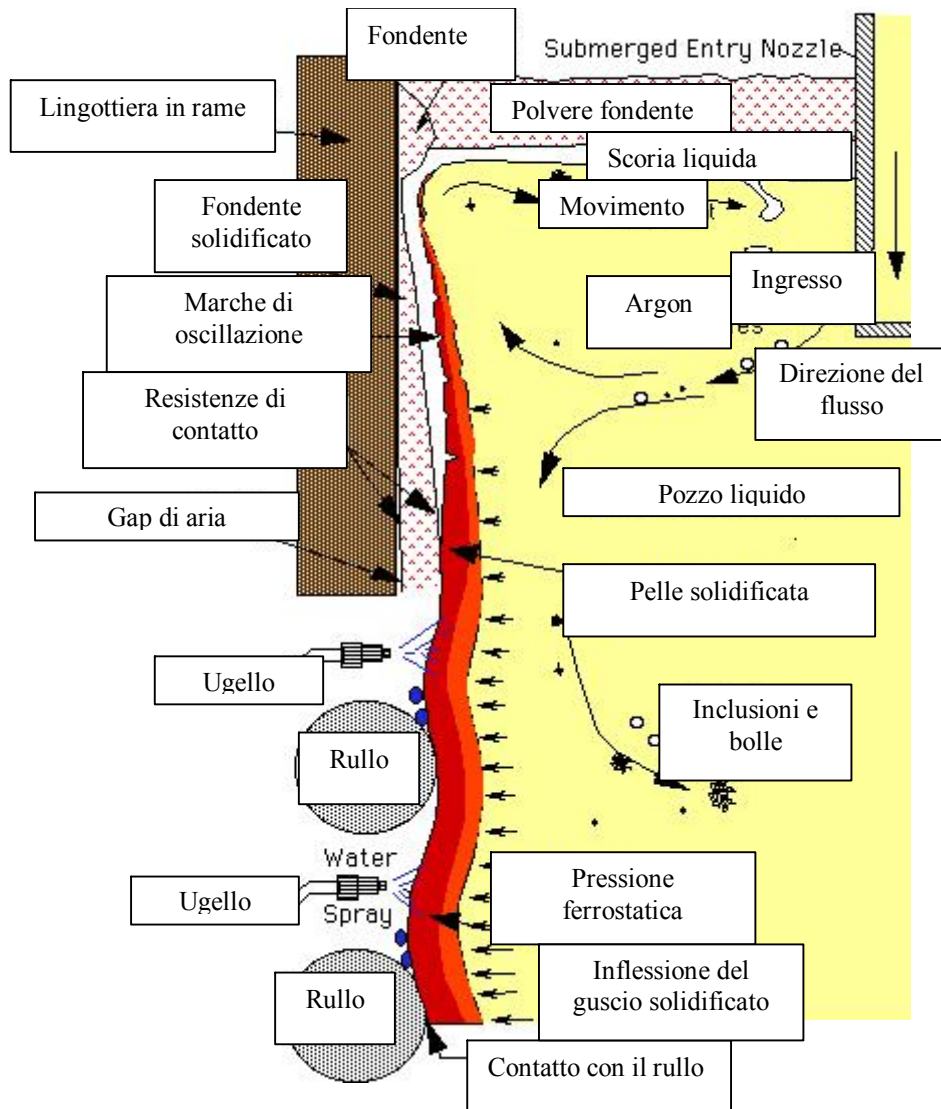


Figura 4 – Flusso ottimizzato dell'acciaio all'uscita del SEN.

1.3.4 – Lingottiera (mould)

E' il cuore del processo di colata poiché in essa viene definita la geometria del semilavorato. E' a questo punto infatti che l'acciaio liquido inizia a solidificare; il guscio solidificato del semiprodotto all'uscita della lingottiera ha uno spessore compreso tra i 10 e i 30mm, a seconda della velocità di colaggio e delle condizioni di raffreddamento.

Può essere colata in continuo una grande varietà di sezioni trasversali: oltre alle comuni geometrie a sezione quadrata (blumi o billette) o rettangolare (bramme), si possono ottenere semiprodotto a sezione tonda, poligonale, a forma di trave.

I diversi tipi di formato che può avere la bramma colata influiscono sulla tipologia di lingottiera utilizzata. Alcuni tipi di lingottiere usate sono i seguenti:

- Lingottiere monoblocco (Block moulds);
- Lingottiere tubolari (Tubular moulds);
- Lingottiere a piastre (Plate moulds).

Le principali caratteristiche dimensionali della lingottiera, indipendentemente dalla tipologia usata, sono:

1. Lunghezza; nella maggior parte dei casi compresa tra 60 e 1000mm;
2. Conicità; di solito si tratta di una conicità inversa: la sezione trasversale nella parte inferiore è minore di quella nella parte superiore. Tale conicità ha lo scopo di compensare la contrazione che il semilavorato subisce durante il raffreddamento, assicurando un contatto continuo tra quest'ultimo e la lingottiera.

1.3.5 – Rulli di contenimento

Hanno lo scopo di supportare il semilavorato in modo che la sezione trasversale possa mantenere costantemente la forma impartita dalla lingottiera.

I sistemi di supporto possibili sono diversi: a rulli, a placche, a griglie, a barre oscillanti. I rulli, nonostante garantiscano un basso contatto con il semilavorato (vista la loro geometria), risultano il sistema di contenimento preferito poiché rappresentano un'ottima soluzione in termini di qualità e di

costi di gestione. Garantiscono infatti un basso livello di attrito, sono soggetti ad un grado di usura minimo, sono molto economici da realizzare ed installare.

I rulli di contenimento vengono raffreddati lungo la linea da ugelli spruzzatori che hanno anche il compito di raffreddare la superficie del semilavorato.

1.3.6 – Falsa bramma

Prima di poter iniziare una sequenza di colata continua, è necessario erogare in condizioni statiche acciaio liquido nella lingottiera chiusa sul fondo, fino alla formazione della prima pelle solidificata. A tale scopo, viene inserita all'interno della lingottiera una “falsa bramma” (dummy bar) la cui testa, delle dimensioni pari alla sezione trasversale della lingottiera, si presta come temporaneo fondo della lingottiera stessa, permettendo così al primo acciaio che giunge dalla paniera di solidificare e di creare il sostegno per la colata.

A riempimento quasi ultimato, la falsa bramma viene trasportata da rulli motorizzati verso il basso, trascinando con sé il semilavorato ad una velocità pari a quella richiesta dalle pratiche operative. La testa del semiprodotto colato, raggiunta l'uscita della linea, viene tagliata in modo da smaltire il segmento di acciaio che rimane a contatto della falsa bramma : questo pezzo, dopo aver sganciato la falsa bramma, viene fatto cadere in un'apposita fossa sottostante la linea.

A questo punto il semilavorato può procedere ed essere tagliato con continuità in bramme della lunghezza desiderata.

1.3.7 – Stazione di taglio

E' qui che il semilavorato totalmente solidificato viene tagliato in pezzi della lunghezza voluta che può essere stabilita in base all'ordine di un cliente o imposta dai vincoli operativi posti dai successivi componenti dell'impianto

(es. dal forno di riscaldamento che precede la laminazione). Per il taglio dei semilavorati, di solito viene utilizzata una torcia che prevede come combustibile acetilene o gas naturale a cui si va ad aggiungere una polvere di ferro.

La stazione di taglio può essere controllata manualmente da un operatore oppure, come nella maggior parte dei casi, può essere automatizzata tramite un sistema informatizzato che impone la lunghezza del prodotto finito e ottimizza le misure dei pezzi tra quelle possibili in modo da ridurre al minimo gli scarti di materiale.

1.3.8 – Zona di recupero e movimentazione delle bramme

In un impianto di colata tradizionale, i pezzi tagliati vengono prelevati all'uscita della macchina di colaggio da un carro ponte e stoccati nel "parco bramme".

A questo punto il semiprodotto, una volta raffreddato, viene sottoposto ad ispezione da parte dell'operatore addetto il quale, a seconda della qualità superficiale riscontrata, smista le bramme verso il reparto molatura (bramma non conforme) o verso il forno di riscaldamento (bramma conforme). Questa fase di ispezione, come si può immaginare, comporta un grande dispendio di energia, di manodopera, di stoccaggio e di movimentazione dei pezzi. Tuttavia è possibile introdurre nella rete di controllo di processo delle linee di colaggio sistemi informatizzati che consentano la definizione in tempo reale della qualità superficiale del semiprodotto in uscita dalla linea e in funzione delle caratteristiche riscontrate gestiscono le fasi successive del processo.

CAPITOLO 2

LA TRASFORMAZIONE DEI SEMILAVORATI

2.1 – LAMINAZIONE

I semilavorati provenienti dalla colata continua o dalla sbozzatura dei lingotti trovano raramente una utilizzazione diretta nell'industria manifatturiera, anche perché le caratteristiche meccaniche del materiale allo stato grezzo di solidificazione non sono in generale adeguate ai requisiti di impiego. D'altra parte, una delle proprietà più interessanti dell'acciaio è la foggibilità. Quindi, con specifici processi è possibile fabbricare prodotti con la geometria desiderata e regolare nel contempo le caratteristiche meccaniche per l'effetto che la deformazione e la temperatura esercitano sulla microstruttura del materiale.

Il primo processo cui l'acciaio colato è sottoposto è la laminazione.

2.1.1 – Principi teorici della laminazione

La laminazione è un processo di lavorazione meccanica che avviene per deformazione plastica, nel quale gli utensili a contatto con il materiale da lavorare sono a simmetria cilindrica e hanno la possibilità di ruotare attorno ad assi fissi. Il contatto tra il materiale da laminare ed i cilindri, che avviene lungo un arco detto appunto arco di contatto, è per rotolamento e assicura simultaneamente sia la deformazione che l'alimentazione del materiale in presa, garantendo così continuità al processo di deformazione.

L'avanzamento del materiale avviene grazie alle forze di attrito che si esplicano tra l'acciaio e il cilindro. Questo si traduce in uno schiacciamento del materiale pari allo spazio lasciato libero dai cilindri; la sezione trasversale del pezzo è così ridotta e di conseguenza, restando costante il volume, la lunghezza ne risulta proporzionalmente aumentata.

L'insieme dei successivi passaggi attraverso le luci aperte nei cilindri rappresentano il tracciato della laminazione; si possono distinguere tre serie di tracciati che si differenziano per il grezzo di partenza e per il prodotto risultato della laminazione.

2.1.2 – Laminazione di sbazzatura

E' il primo processo di lavorazione che subiscono i prodotti siderurgici quali i lingotti che vengono così trasformati in semilavorati (detti anche sbazzati), classificabili in:

- BLUMI, aventi sezione quadrata con lato fino a 400mm;
- BRAMME, di sezione rettangolare con lato maggiore fino a 400mm (costituiscono il materiale di partenza per la fabbricazione delle lamiere);
- BILLETTE, di sezione quadrata con lato variabile tra 50 e 130mm, possono essere destinate a successive operazioni di laminazione (per la produzione di barre e profilati) oppure impiegati per la fucinatura.

2.1.3 – Laminazione di semifinitura o di preparazione

I blumi, le bramme e le billette subiscono un successivo ciclo di laminazione per essere trasformati in prodotti semifiniti aventi sezione minore e forma adatta a ricevere il profilo definitivo.

2.1.4 – Laminazione di finitura

Con questa tecnica, partendo da un semilavorato si ottengono dei prodotti finiti, destinati a lavorazioni diverse dalla laminazione.

In Figura 5 è rappresentato un esempio di finitore di una linea di laminazione a caldo.

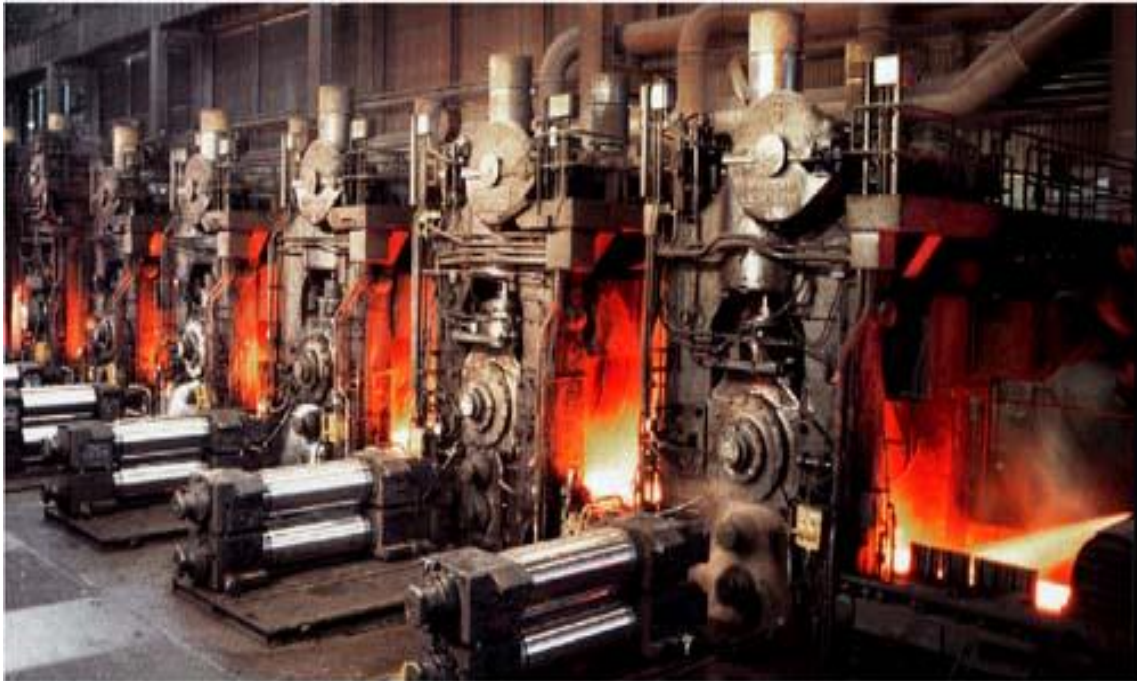


Figura 5 – Esempio di finitore utilizzato nella laminazione a caldo degli acciai.

Nella laminazione a caldo, la deformazione dei grani cristallini viene annullata da un processo di ricristallizzazione che si innesca spontaneamente eliminando incrudimenti e rigenerando i grani.

Lo scopo di tale operazione è quello di raggiungere, dalla brama di partenza, dimensioni prossime a quelle del nastro che si vuole ottenere e, contemporaneamente, di omogeneizzare la struttura del materiale. Infatti, la laminazione a caldo viene effettuata a temperature tali da permettere una ricristallizzazione continua durante e dopo la deformazione dell'acciaio e, nel contempo, consente di annullare quei difetti che possono insorgere durante la

solidificazione dello stesso. In Figura 6 è schematizzato il passaggio dell'acciaio tra i rulli di laminazione e le conseguenti variazioni microstrutturali che esso in teoria subisce. Lo schema riportato è di tipo teorico, in quanto non è detto che le condizioni della linea e le caratteristiche dell'acciaio stesso siano tali da portare ad una completa ricristallizzazione del materiale.

In generale, le bramme vengono fatte passare più volte attraverso i cilindri del laminatoio, fino a raggiungere la forma e le dimensioni desiderate. L'acciaio, nel corso dei successivi passaggi, viene ridotto di sezione e allungato in proporzione. Nella laminazione a caldo, la massima riduzione dello spessore che si può ottenere con ogni singolo passaggio corrisponde a circa il 13% del diametro del cilindro. L'insieme dei vari passaggi attraverso le luci aperte nei cilindri costituisce, come già accennato, il "tracciato di laminazione".

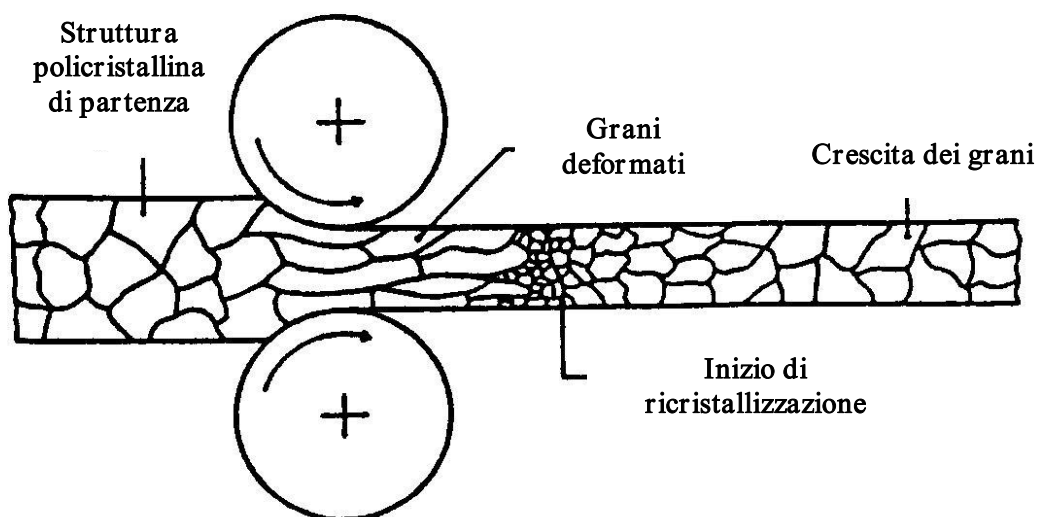


Figura 6 – Schematizzazione della variazione strutturale dell'acciaio durante il passaggio tra i rulli di laminazione.

2.1.5 – Il laminatoio

E' l'impianto meccanico in cui viene effettuata la laminazione. Le parti essenziali che ne fanno parte sono:

1. Il forno di riscaldamento Il forno utilizzato per il riscaldamento delle bramme (Walking Beam), con delle prestabilite condizioni di pressione e di ossigeno, è suddiviso in varie zone in cui il materiale subisce dei graduali aumenti di temperatura. Dopo il passaggio nel forno, l'acciaio riscaldato viene sottoposto a sbazzatura e finitura.
2. La gabbia di laminazione che rappresenta la zona in cui effettivamente avviene la riduzione dello spessore del materiale;
3. Le vie a rulli che consentono di portare il pezzo in lavorazione alla gabbia di laminazione e di allontanarlo alla fine del processo;
4. Le attrezzature di laminazione (guide, manipolatori, canali di imbocco, ecc.) che consentono di disporre il pezzo durante la laminazione.

Nella laminazione a freddo invece il materiale subisce un forte incrudimento e vengono richiesti sforzi di laminazione maggiori ma con tale tecnica è possibile ottenere un controllo dimensionale più rigoroso, un'accurata finitura superficiale, un affinamento del grano e un miglioramento delle caratteristiche meccaniche dell'acciaio. Generalmente, alla laminazione a freddo viene fatto seguire un trattamento termico che riduca le tensioni residue del materiale.

2.2 – FUCINATURA

E' un altro processo di compressione diretta, di uso più limitato negli impianti siderurgici. Il pezzo viene formato contro superfici o entro stampi sagomati per mezzo di magli o presse. Il riferimenti più immediato per la compressione, fatte le dovute proporzioni, è la tradizionale battitura manuale tra martello e incudine.

Questa tecnica è usata in alcune acciaierie nelle quali si fabbricano pezzi di grosse dimensioni colati in lingotti.

2.3 – PROCESSI DI DEFORMAZIONE INDIRETTA DEI SEMILAVORATI

Queste tecnologie vengono usate per la formatura di prodotti lunghi, profilati e tubi. La compressione indiretta implica che la deformazione viene imposta da una matrice che contiene il metallo, in opposizione a una forza esercitata dall'interno sul metallo stesso.

2.3.1 – Estrusione

Viene effettuata per lo più a caldo. In questa tecnica, un massello è costretto a fluire attraverso una matrice opportunamente sagomata (filiera) sotto la spinta di un punzone azionato da una pressa; si tratta di una tecnica applicabile a produzioni di piccole serie ed è destinata alla fabbricazione di prodotti di forma particolare. Si possono anche ottenere pezzi cavi per estrusione inversa: in questo caso è il punzone stesso a fungere da matrice e il metallo fluisce in senso opposto rispetto al movimento di quest'ultimo.

2.3.2 – Trafilatura

E' una tecnologia simile alla precedente ma viene condotta per lo più a freddo. Nella trafilatura il prodotto viene tirato dal lato di uscita della filiera. Questa tecnica è utilizzata per la produzione di filo.

In Figura 7 è schematizzata la tecnica di deformazione che viene attuata rispettivamente nella fucinatura (A), nella laminazione (B), nella trafilatura (C) e nell'estrusione (D).

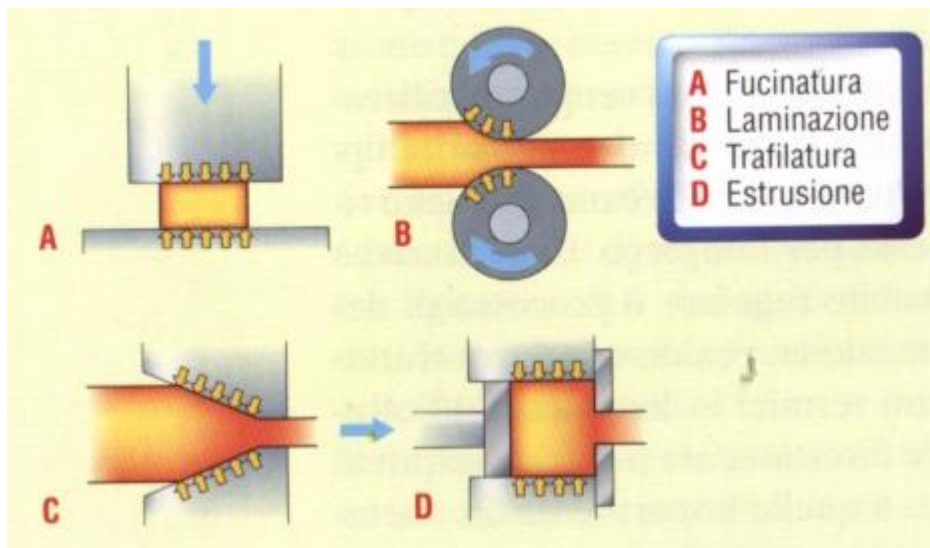


Figura 7 – Schematizzazione dei processi di deformazione dell'acciaio: a) Fucinatura, b) Laminazione, c) Trafilatura, d) Estrusione.

CAPITOLO 3

IMPIANTI DI PRODUZIONE COMPATTI

3.1 – COLAGGIO DI BRAMME CONVENZIONALI

La tecnologia è quella descritta nei paragrafi precedenti così come i componenti descritti. Una classificazione che si può fare riguarda il numero di semiprodotti che si possono colare contemporaneamente: esistono a tal proposito la configurazione single strand, la twin strand (o dual strand) e la multi strand, come mostrato in Figura 8.

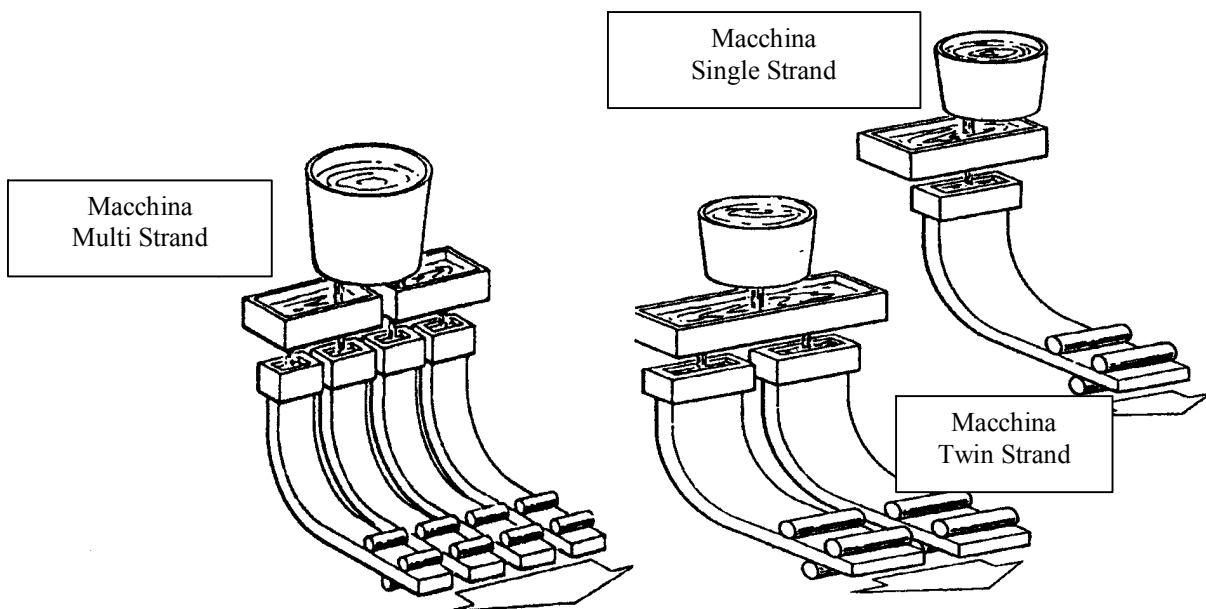


Figura 8 – Configurazioni della macchina di colata continua.

A seconda della tipologia utilizzata, si ha un modello di paniera differente, caratterizzata da un determinato numero di scaricatori: uno nel caso della

single strand, due per la twin strand e più di due nella multi strand. Mentre con i primi due metodi si colano usualmente bramme, la tecnologia multi strand è utilizzata soprattutto per la produzione di billette. In Figura 9 si può osservare una macchina di colata continua a cinque linee, proprio per la produzione di billette.



Figura 9 – Macchina di colata continua a 5 linee per la produzione di billette.

Un altro criterio di classificazione per le macchine di colata continua si può introdurre in base alla geometria della macchina stessa. Esistono infatti macchine di colata verticali e macchine curve. Queste ultime sono sempre più diffuse poiché permettono un aumento della produttività senza richiedere un incremento dell'altezza dell'impianto in quanto consentono di estrarre le barre colate sul piano orizzontale. Come mostrato in Figura 10, nella macchina di tipo verticale (tipo A), la lingottiera a pareti diritte è posta verticalmente, il semiprodotto a sua volta è mantenuto in posizione verticale, senza venire mai curvato. Solo una volta tagliato in bramme della lunghezza desiderata, viene ruotato in posizione orizzontale o obliqua per essere poi trasportato alle

successive stazioni dell'impianto. Una variante della macchina verticale consiste nell'introduzione di una curvatura sul prodotto già solidificato il cui scopo è solo quello di raddrizzare il semilavorato.

Le altre due macchine di colata mostrate in Figura 10 appartengono alla categoria delle macchine curve. Nella macchina di tipo B il semiprodotto, una volta uscito dalla lingottiera, viene prima curvato progressivamente per poi essere raddrizzato e posto in posizione orizzontale. Nella macchina di tipo C (più usata) il semilavorato esce curvato dalla lingottiera e segue un percorso a raggio costante; in questo caso l'altezza della macchina è notevolmente ridotta.

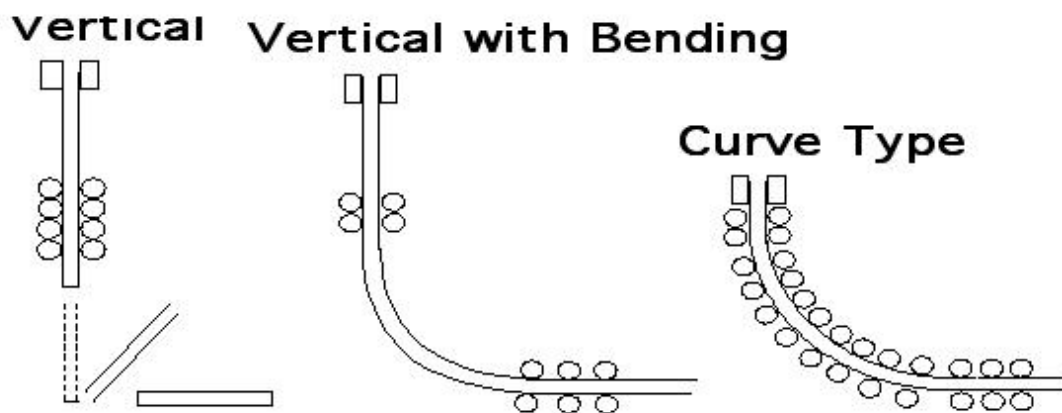


Figura 10 – Tipologie di macchine di colata a seconda della geometria dell'impianto.

Nella Figura 11 è mostrata una immagine della macchina di colata continua curva.



Figura 11 – Colaggio di una bramma in continuo.

3.2 – COLAGGIO IN BRAMME SOTTILI

Dalla colata continua tradizionale si sono sviluppate alcune nuove tecnologie al fine di aumentare la produttività dell’impianto e ridurre i costi del prodotto. Con tali tecnologie è possibile infatti compattare in un unico ciclo e in uno spazio di poche centinaia di metri lavorazioni che nella metodologia tradizionale vengono suddivise in stadi diversi e richiedono spazi di gran lunga maggiori. Le nuove tecnologie vincenti sono basate sul concetto di “Near Net Shape Casting” che letteralmente significa colaggio in spessori vicini a quello del prodotto finale, con una intuibile serie di risparmi di risorse. Per quanto riguarda i laminati piani, le tecnologie derivate da questo concetto sono:

- Compact Strip Production (CSP);
- Inline Strip Production (ISP);
- Strip Casting.

Il vantaggio principale dell'introduzione del colaggio in bramme sottili (spessore 50-60mm a fronte dei 180-230mm delle bramme prodotte in colata tradizionale) è che il semiprodotto colato può essere laminato a caldo in linea e in pochi stadi, evitando la costruzione del laminatoio tradizionale che risulta essere molto onerosa. Al forno di riscaldamento del laminatoio si sostituisce un forno di omogeneizzazione, poiché il semiprodotto è già a temperatura elevata. Viene inoltre evitato l'utilizzo del parco in cui le bramme vengono stoccate e lasciate raffreddare e dei conseguenti trasporti di queste ultime agli impianti di laminazione.

Il primo impianto (tipo CSP) è stato installato a livello mondiale nel 1989 in Indiana (USA) presso la NUCOR e in Europa nel 1992 a Cremona nello stabilimento ARVEDI (tipo ISP). A poco più di dieci anni di distanza, gli impianti di questo tipo, la cui taglia oscilla tra 1 e 2 milioni di tonnellate annue, hanno raggiunto una capacità globale di circa 50 milioni di tonnellate pari al 16% circa di tutta la capacità mondiale di laminati piani. Nei soli Stati Uniti, dove l'installazione è stata più intensa, circa il 30% di nastri a caldo nell'anno 2000 è stata realizzata tramite impianti compatti. Delle due tecnologie sorte per prime, il processo CSP copre oltre il 50% del mercato; il processo ISP, che adotta soluzioni metallurgiche più innovative, ha richiesto una messa a punto più lunga e presenta una diffusione minore. In Italia esistono due impianti in funzione: il primo, presso la Società Acciai Speciali Terni (CSP), il secondo è quello già citato di Arvedi (ISP). Con queste tecnologie si possono fabbricare, con risultati soddisfacenti, acciai a basso, medio e alto carbonio (fino allo 0.90%), acciai magnetici al silicio con grano non orientato e acciai microlegati.

3.2.1 – Tecnologia CSP

La tecnologia CSP consente una certa semplificazione del processo di produzione di nastri a caldo del quale vengono mantenute le fasi di colaggio, equalizzazione della temperatura, laminazione e avvolgimento sugli aspi. In Figura 12 sono messi a confronto gli impianti di colata tradizionale e CSP. E' subito evidente che il forte risparmio di spazio che la nuova tecnologia porta. Si pensi che un impianto di colata tradizionale è lungo circa 500 metri mentre un impianto CSP è lungo circa la metà.

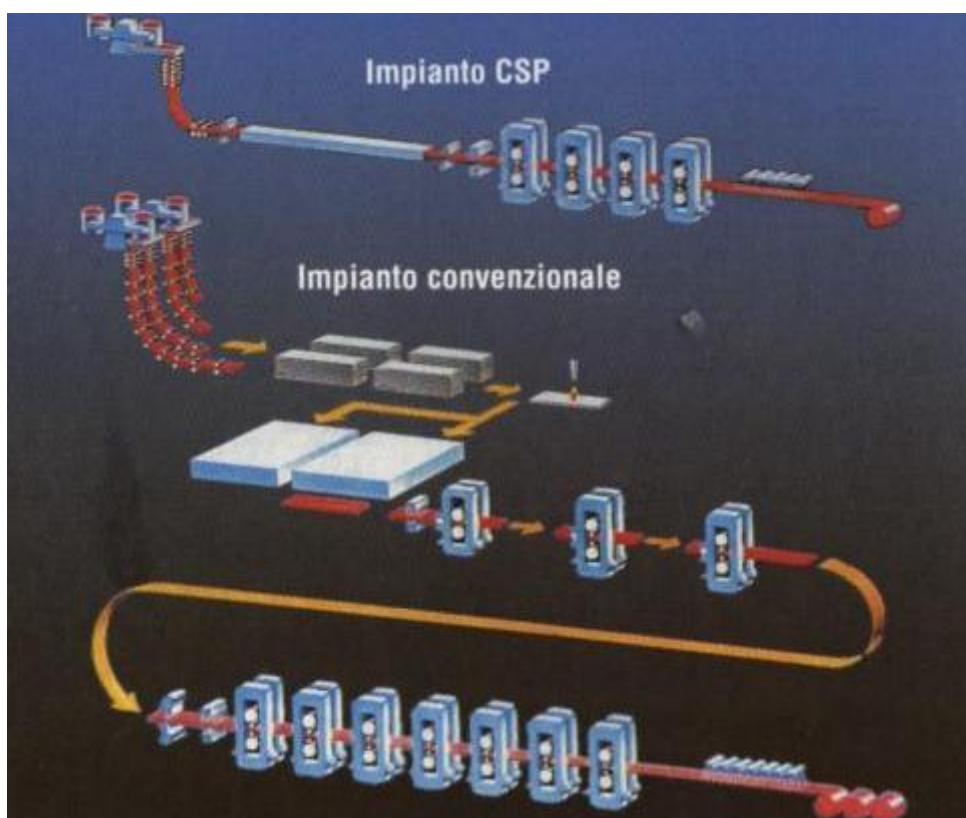


Figura 12 – Schema dell'impianto CSP a confronto con quello convenzionale.

Nel processo CSP si cola una bramma sottile di larghezza compresa tra 1000 e 1500mm, mediante una lingottiera caratterizzata da una forma a imbuto (Figura 13) per consentire l'introduzione di un particolare scaricatore sommerso. Questa geometria inoltre asseconda il ritiro che avviene durante la

solidificazione dell'acciaio, consente il centraggio della bramma all'interno della lingottiera e assicura la presenza di uno strato uniforme di scoria lubrificante con un conseguente flusso termico stazionario tra la superficie appena solidificata e le pareti della lingottiera. La stazionarietà del flusso termico consente di minimizzare le tensioni residue in direzione orizzontale nell'acciaio solidificato.

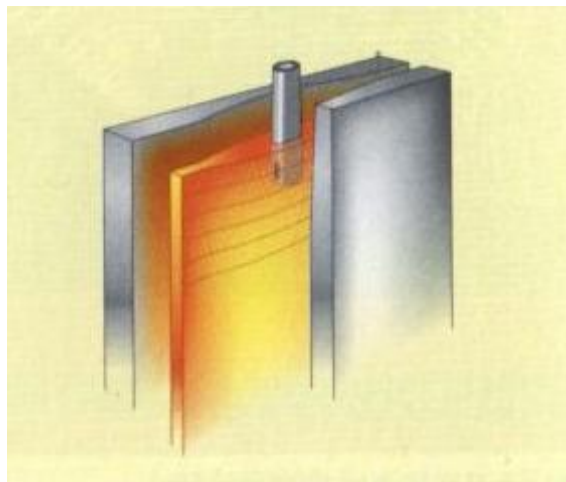


Figura 13 – Forma caratteristica ad imbuto della lingottiera dell'impianto CSP.

La solidificazione è più rapida rispetto al processo tradizionale; si possono infatti raggiungere velocità di colaggio fino a 6-7 metri al minuto. Occorre però tener presente che l'introduzione di un flusso di acciaio così veloce nella lingottiera genera turbolenze nel fuso che possono provocare difetti superficiali e problemi di purezza nella composizione chimica dell'acciaio.

La bramma prodotta passa in forno di omogeneizzazione della temperatura (forno a tunnel), lungo fino a 240 metri, che può contenere una intera colata. Questo forno ha anche la funzione di congiungere la macchina di colata e il treno di laminazione, gestendo le fermate di quest'ultimo (programmate e non), svolgendo in tal modo una funzione di polmone (buffer).

Viene così avviato il processo di laminazione di cui è stata riscontrata una qualità comparabile con la finitura dei processi tradizionali. Esso risulta composto da varie gabbie ed è sostanzialmente un treno di finitura. Sono generalmente presenti dispositivi per il controllo della geometria dei nastri.

3.2.2 – Tecnologia ISP

Questo tipo di tecnologia è più articolata della precedente. Infatti già nel processo di colata continua si realizza una prima operazione di riduzione dello spessore (cast rolling) che comprende una riduzione a cuore libero del 25% circa, ottenuta tramite la progressiva diminuzione della sezione di passaggio e una pre-laminazione della bramma appena solidificata che viene trasformata in semilavorato di spessore variabile tra 13 e 20mm. L'impianto ISP è schematizzato in Figura 14.

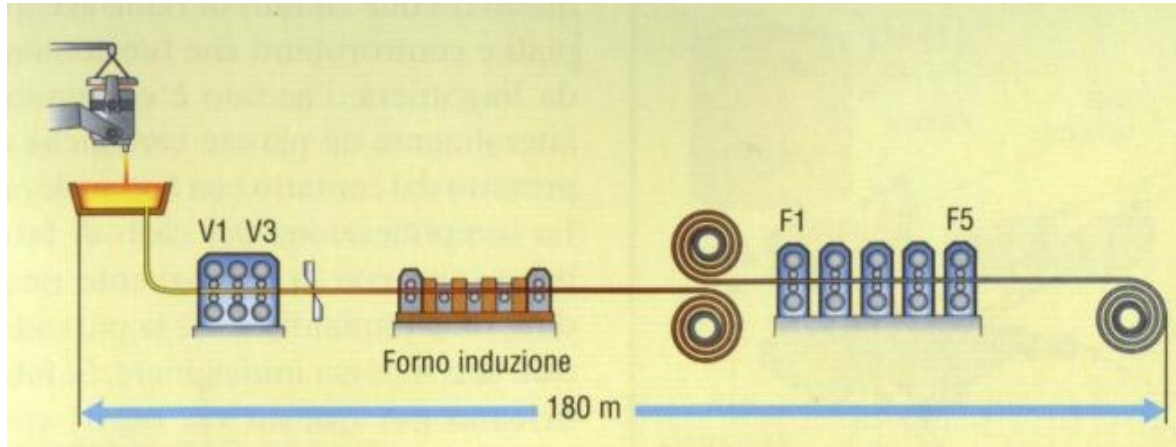


Figura 14 – Schema dell'impianto ISP.

Una particolarità di questo impianto sta nella forma della lingottiera che ha una geometria a facce piane e parallele. Il semilavorato passa quindi in un forno di omogeneizzazione a induzione e viene avvolto su una coppia di aspi incapsulati e riscaldati che operano alternativamente in avvolgimento e

svolgimento verso il laminatoio finitore e funzionano quindi da polmone, consentendo di rendere relativamente indipendenti forno e laminatoio. Con la tecnologia ISP la fase di deposito delle bramme viene eliminata e l'acciaio liquido è trasformato in coils in 170 metri e in 15 minuti di tempo; le innovazioni tecnologiche di questo impianto lo rendono infatti molto compatto.

3.2.3 – Impianti per il colaggio diretto dei nastri (STRIP CASTING)

Anche se le applicazioni industriali sono ancora limitate, eccezionali prospettive si aprono con questa tecnologia che consiste nel portare a rapida solidificazione mediante colaggio in continuo prodotti piani con dimensioni e proprietà direttamente utilizzabili in alternativa ai nastri laminati a caldo. Il processo più diffuso si basa sul colaggio dell'acciaio liquido tra due cilindri di rame accoppiati e controrotanti che funzionano da lingottiera. L'acciaio è contenuto lateralmente da piastre ceramiche e protetto dal contatto con l'atmosfera. La semplificazione apportata al ciclo di fabbricazione è radicale. Lo schema dell'impianto è mostrato in Figura 15.

Con questo metodo si producono nastri con spessore compreso tra 2 e 5mm e larghezza fino a 1500mm circa; la velocità di colaggio, funzione dello spessore del nastro, è tipicamente compresa tra 80 e 100 metri al minuto e la produttività oraria è confrontabile con quella delle attuali macchine industriali.

La tecnologia descritta è applicabile attualmente agli acciai inossidabili austenitici, viste le loro caratteristiche metallurgiche, ma per coprire i costi di sviluppo è necessario allargare la gamma degli acciai prodotti ai tipi più comuni.

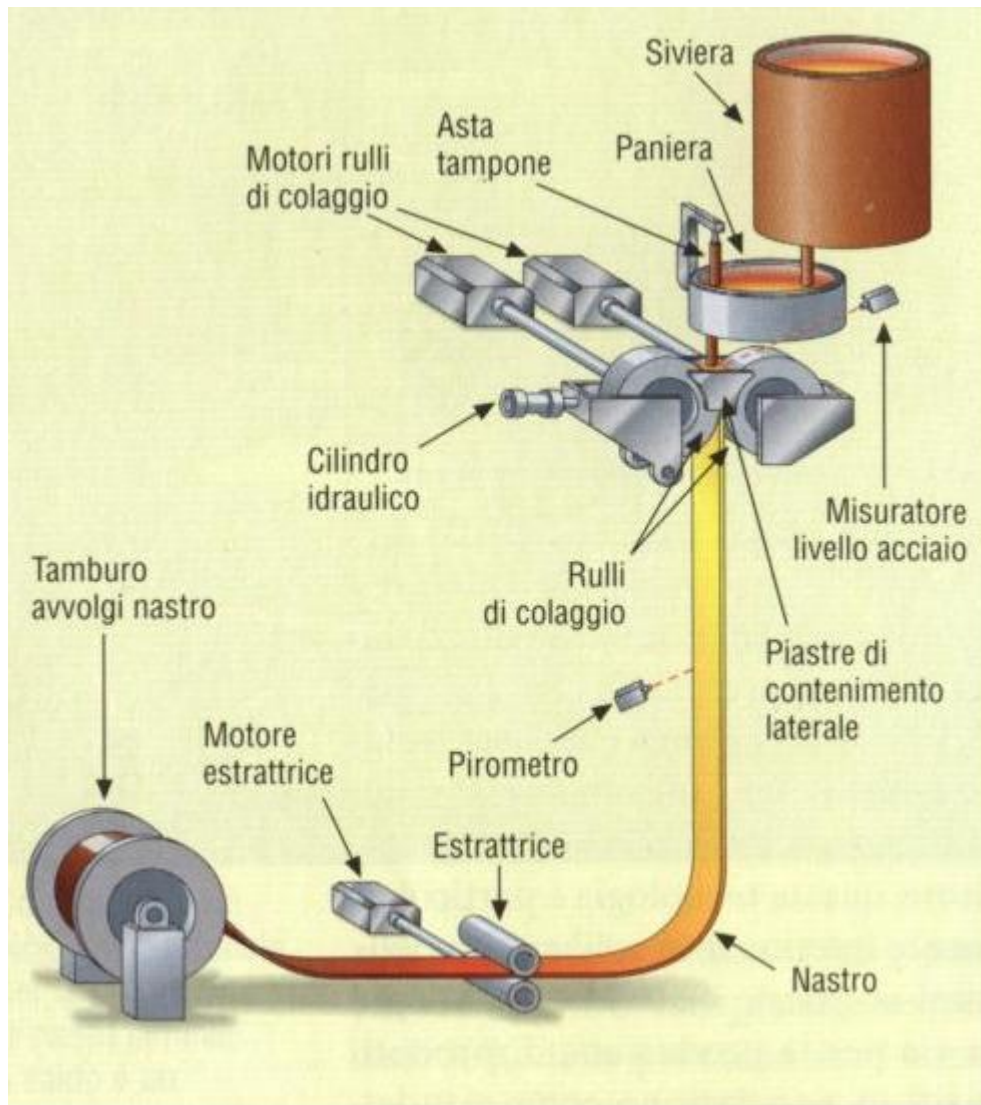


Figura 15 – Schema dell'impianto di produzione diretta di nastri.

CAPITOLO 4

TRATTAMENTI TERMICI

4.1 – RICOTTURA

Viene effettuata per conferire al prodotto particolari proprietà meccaniche, sia a fine ciclo, sia all'interno del ciclo stesso. Gli obiettivi di tali trattamenti possono essere diversi: completare la ricristallizzazione del materiale, addolcire l'acciaio incrudito, affinare e uniformare la struttura, ottenere caratteristiche di durezza o resistenza più elevate in funzione dell'impiego cui il materiale è destinato.

Nella produzione di lamiere di acciaio inox, ad esempio, il nastro laminato a caldo viene fatto passare sulla linea di trattamento nastri a caldo dell'impianto. In questa fase, il materiale subisce un trattamento di ricottura mediante un passaggio nel forno alla velocità impostata dall'operatore.

Nella linea di trattamento del laminato, affinché si abbia continuità di lavoro, i diversi nastri vengono saldati tra di loro, in particolare la coda di un nastro viene giunta con la testa del successivo. In questo modo, tutto l'acciaio prodotto e laminato a caldo può subire i trattamenti necessari, senza mai fermare la linea. Quest'ultima ha una distribuzione tale che il nastro sia soggetto a continue curvature, per questo è necessario che, anche dopo la saldatura, l'acciaio mantenga adeguate proprietà di duttilità che ne consentano le curvature, senza causarne però la frattura. La rottura del nastro in linea causerebbe infatti il blocco della produzione e le conseguenti perdite di tempo e di denaro ad esso connesse.

Il forno, suddiviso in sei zone, viene tarato ad una temperatura che varia tra la prima zona e l'ultima. Ad esempio, per nastri di spessore compreso tra 3.50mm e 4.50mm le temperature di ricottura nelle diverse zone del forno variano tra 1040 nella prima e 1060°C nell'ultima. Dopo essere stato raffreddato in acqua e vapore, l'acciaio viene incrudito tramite pallinatura e di seguito decapato. Per quanto riguarda questo ultimo passaggio, lo scopo è quello di togliere lo strato di ossido che si forma sulla superficie del materiale in seguito alla ricottura. La linea è costituita da tre vasche di decapaggio in ognuna delle quali è previsto un diverso attacco elettrolitico che porti l'acciaio ad avere una superficie lucida perché priva di ossido.

Tra una vasca e l'altra il nastro viene spazzolato e bagnato con acqua.

Al termine del passaggio del materiale nella linea nastri a caldo, non è detto che l'acciaio abbia una struttura completamente ricristallizzata che assicuri delle buone proprietà meccaniche.

A titolo di esempio, nelle Figure 16 e 17 è mostrato l'aspetto di un acciaio inossidabile ferritico laminato a caldo, ricotto e decapato in linea. Le immagini sono state prelevate rispettivamente al bordo e a centro spessore del campione. Da una osservazione delle strutture riportate, si può notare come il materiale non sia completamente ricristallizzato durante la permanenza ad elevata temperatura; si osserva solo la presenza di alcuni grani ricristallizzati al bordo del campione mentre a centro spessore i grani sono allungati nel senso di laminazione.



Figura 16 – Micrografia dell' acciaio inox ferritico AISI 441 laminato a caldo, ricotto e decapato. Ingrandimento 100x. Bordo dello spessore del nastro.



Figura 17 – Micrografia dell' acciaio inox ferritico AISI 441 laminato a caldo, ricotto e decapato. Ingrandimento 100x. Centro spessore del nastro.

Agendo sulla velocità del passaggio del nastro sulla linea e sulle temperature del forno, si deve cercare di trovare una combinazione ottimale di tali parametri, consentendo al materiale una completa ricristallizzazione, al fine di aumentarne le proprietà meccaniche, ma evitando una eccessiva permanenza dello stesso ad elevate temperature che porterebbe ad una eccessiva crescita del grano ricristallizzato.

Anche i nastri laminati a freddo vengono fatti passare su un apposita linea di trattamento. Come per i laminati a caldo, viene effettuato un trattamento di ricottura e, dopo il raffreddamento, il materiale viene decapato. Ovviamente, essendo diverse le condizioni del nastro laminato a freddo, rispetto a quelle del laminato a caldo, saranno differenti i parametri di ricottura nelle due diverse linee di trattamento. Per quanto concerne il decapaggio, la linea comprende un primo bagno, in cui l'acciaio è portato al massimo livello di ossidazione. Il bagno comprende due vasche successive: nella prima avviene il decapaggio del materiale tramite attacco elettrolitico, la seconda vasca è di passivazione.

Al termine del trattamento LAF, il laminato a freddo viene portato sulla linea preparazione nastri, nella quale sono prelevati fogli per prove sperimentali. In questa sede il nastro viene "scattivato", eliminando i tratti anomali di testa e di coda, al fine di ottenere un nastro omogeneo.

Per quanto riguarda gli acciai con tenore di carbonio medio-alto, anche in questo caso già sul laminato a caldo è necessario un trattamento di ricottura. Ci si riferisce soprattutto a prodotti lunghi, con qualche applicazione ai nastri stretti. Ad esempio, la maggior parte dei prodotti laminati a caldo in acciaio legato, destinati alla fabbricazione di pezzi meccanici o alla bulloneria, devono essere sottoposti ad una ricottura che ne migliori la lavorabilità alle macchine utensili o l'attitudine alla lavorazione a freddo. Il trattamento più diffuso per gli acciai da costruzione, anche per la sua economicità, è la

ricottura sub-critica che comprende il riscaldamento del materiale ad una temperatura inferiore a quella in cui avviene la trasformazione di fase dell'acciaio; il mantenimento prolungato a tale temperatura, il raffreddamento fino a temperatura ambiente senza particolari vincoli. Ovviamente, a seconda del tempo di permanenza del materiale ad elevata temperatura variano le proprietà conferite all'acciaio. A seconda degli obiettivi da raggiungere quindi si controllerà ancora una volta la velocità con cui l'acciaio si muove nel forno di ricottura della linea di produzione e la temperatura alla quale il forno è impostato.

Per gli acciai a basso carbonio, sottoposti a laminazione a freddo, per ottenere una completa ricristallizzazione dell'acciaio si effettua un trattamento di ricottura sub-critica ad una temperatura compresa tra i 600 ed i 700°C.

Per gli impieghi più severi, ad esempio per acciai ad alto carbonio destinati alla fabbricazione di cuscinetti a rotolamento (anelli, sfere, rulli, ecc.) il trattamento è più complesso e viene condotto nei vari impianti con modalità "personalizzate": in questo caso ad esempio si parla di ricottura di globulizzazione.

4.2 – NORMALIZZAZIONE

Viene generalmente eseguita su pezzi grezzi di laminazione a caldo per uniformare la struttura e la composizione, ottenere una buona formabilità del materiale e predisporre l'acciaio ad un migliore comportamento nel caso di un eventuale trattamento di tempra finale.

Questo trattamento comprende le stesse fasi di una semplice ricottura ma la temperatura a cui si riscalda e si mantiene l'acciaio è maggiore e tale da portare ad una trasformazione di fase dello stesso, ma non ad un eccessivo ingrossamento del grano. Il raffreddamento è in aria libera.

4.3 – TEMPRA

Viene effettuata quasi sempre su pezzi già lavorati nelle officine degli utilizzatori, per esaltare le caratteristiche di resistenza dell'acciaio. Il materiale viene riscaldato fino ad un completo cambiamento di fase (austenitizzazione) e successivamente raffreddato velocemente in modo da ottenere una microstruttura fortemente distorta e pensionata (martensite) che presenta una durezza molto elevata, proporzionale al tenore di carbonio presente nella composizione, ma anche una notevole fragilità. La velocità di raffreddamento è un parametro critico per questo tipo di trattamento ed è quello che stabilisce la microstruttura finale dell'acciaio. A tale proposito, nelle pratiche operative, bisogna tener conto delle dimensioni del pezzo da trattare, dell'attitudine dell'acciaio alla penetrazione della tempra a seconda della composizione chimica e stabilire il mezzo temprante. Alcuni mezzi tempranti di uso comune sono l'acqua e l'olio.

4.4 – RINVENIMENTO

Per eliminare le tensioni e restituire al materiale un certo grado di tenacità e duttilità, questo trattamento viene effettuato subito dopo la tempra. Il materiale viene riscaldato, mantenuto a temperatura per un certo tempo, poi raffreddato in aria. La temperatura stabilita (non eccessivamente elevata) deve consentire di conferire all'acciaio una struttura che garantisca un compromesso tra la resistenza ottenuta con la tempra e la duttilità conseguenza della permanenza ad alta temperatura. Quando la temperatura di riscaldamento è di 600°C il trattamento viene detto di bonifica.

Comunque si utilizzano temperature diverse in funzione delle proprietà meccaniche che si intende favorire: ad esempio, gli acciai per cuscinetti, a cui è richiesta una elevata durezza, vengono trattati nell'intervallo 150-400°C; gli acciai per molle invece subiscono un rinvenimento a 400-450°C per sviluppare una elevata resistenza allo snervamento e quindi una alta elasticità.

CAPITOLO 5

PRODOTTI SIDERURGICI

Gli acciai sono fabbricati sotto forma di vari tipi di prodotti a seconda dell'utilizzazione cui sono destinati. In questo paragrafo verranno, esaminati, da un punto di vista generale, i principali tipi di prodotti finiti. In Figura 18, per facilitare la comprensione, sono schematizzati i vari prodotti siderurgici e come questi sono collegati tra di loro a seconda dello stato di avanzamento della produzione. Per prodotto finito infatti si può intendere un prodotto grezzo, un semilavorato oppure un prodotto che abbia subito ulteriori lavorazioni meccaniche.

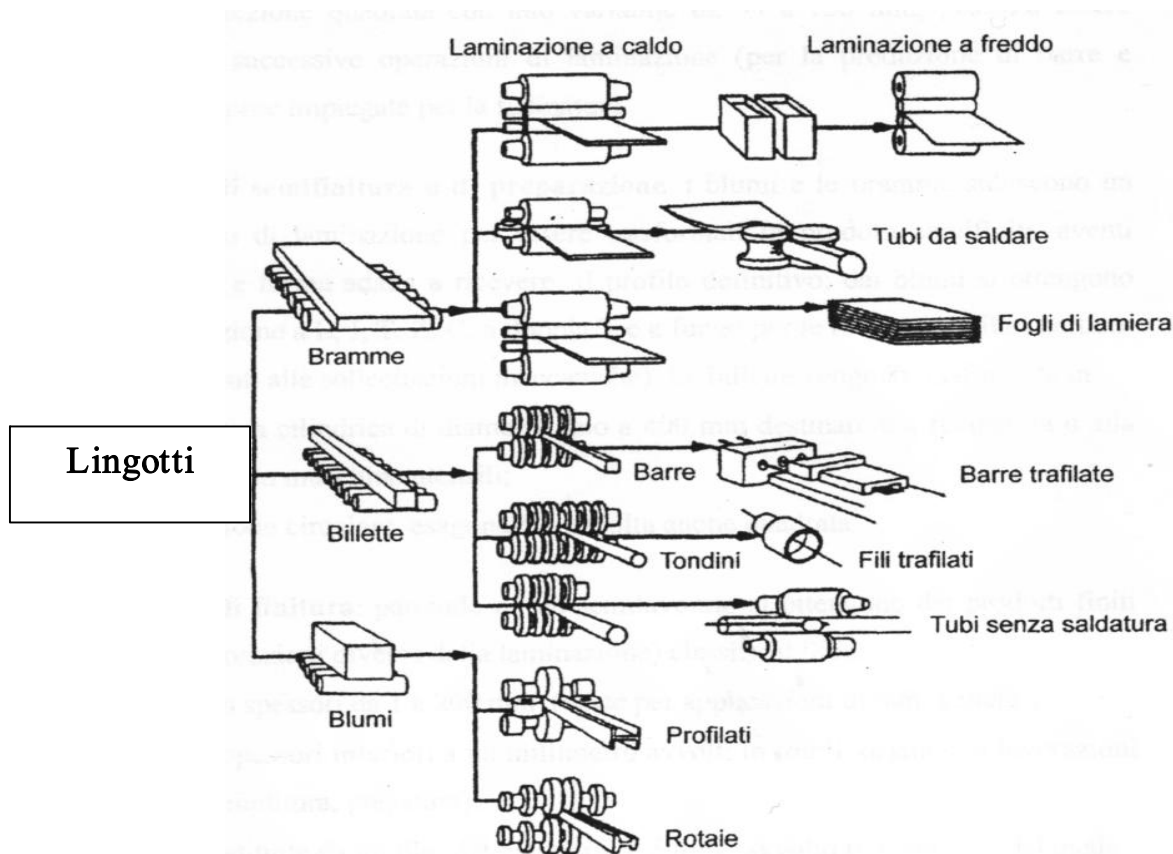


Figura 18 – Prodotti tipici dell'industria siderurgica.

5.1 – PRODOTTI GREZZI

Sono quelli che si trovano ancora allo stato direttamente risultante dall'elaborazione dell'acciaio fuso, oppure secondo forme che non hanno ancora subito lavorazioni e deformazione plastica a caldo.

Premesso che l'acciaio allo stato liquido è esso pure un prodotto grezzo, gli altri sono:

- I lingotti propriamente detti;
- I lingotti piatti.

I primi hanno sezione quadrata, rettangolare (con il lato lungo della sezione inferiore al doppio del lato corto), poligonale o tonda. Da essi si possono ottenere, per laminazione o fucinatura, i cosiddetti semilavorati lunghi.

I secondi hanno sezione rettangolare con il lato lungo maggiore del doppio del lato corto. Quando la loro sezione risulta particolarmente allargata, sono detti bramme, dalle quali poi si ottengono le lamiere ed i nastri.

5.2 – SEMILAVORATI

Questi prodotti sono ottenuti mediante operazioni di fucinatura o di laminazione a caldo di lingotti oppure direttamente dalla colata continua.

Essi possono essere di sezione quadrata, rettangolare oppure tonda (Figura 19) e le superfici laterali possono essere grezze di laminazione, di fucinatura, o di colata continua, oppure avere subito operazioni finalizzate alla rimozione di difetti superficiali mediante lavorazioni di molatura, scalpellatura, fiammatura, ecc.

Essenzialmente si possono suddividere in:

- Semilavorati quadrati quali i blumi che hanno sezione quadrata con lato superiore a 120mm e le billette che hanno sezione quadrata con lato compreso tra 50 e 120mm;
- Semilavorati rettangolari quali le bramme e le billette rettangolari, più propriamente detti semilavorati semipiatti (il rapporto tra il lato minore della sezione e quella maggiore è di solito inferiore a 4), le bramme appiattite e i bidoni, più propriamente detti semilavorati appiattiti poiché il rapporto tra il lato minore e quello maggiore della sezione risulta molto più elevato che nel caso precedente;
- Semilavorati tondi a sezione circolare con diametro solitamente maggiore di 70mm.

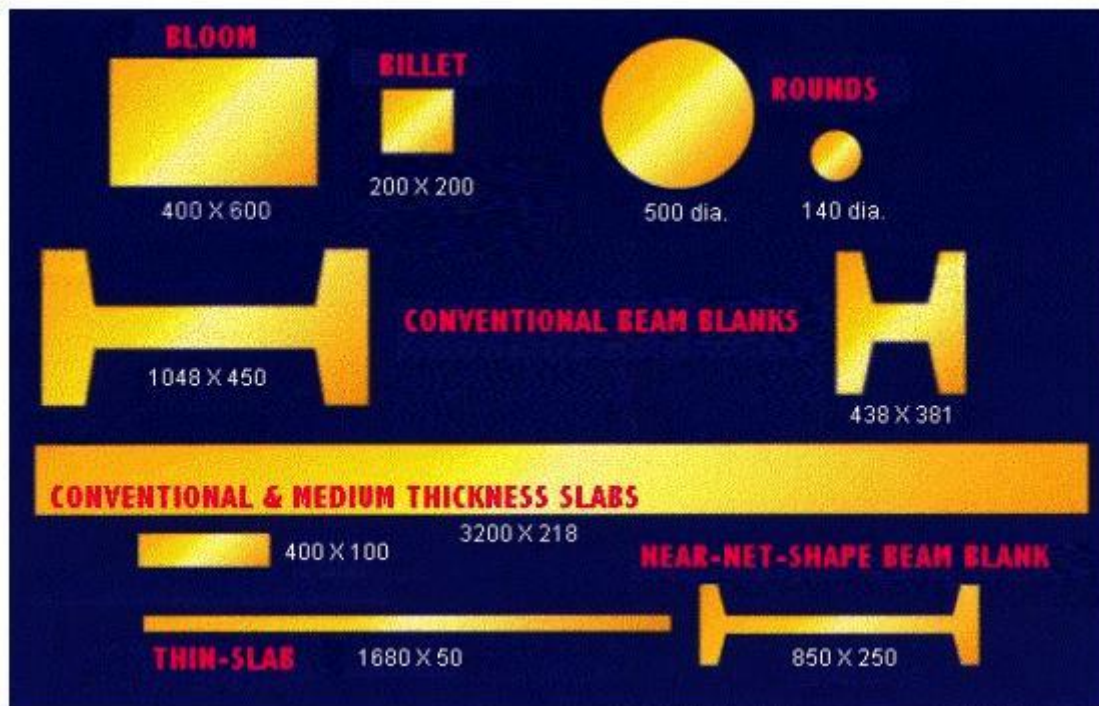


Figura 19 – Tipi di semilavorati con relative geometrie e dimensioni.

5.3 – PRODOTTI PIANI

5.3.1 – Lamiera

Sono ottenute dalla laminazione a caldo (seguita eventualmente da una laminazione a freddo) delle bramme.

Gli spessori più utilizzati vanno da 5 fino a 100mm ma non mancano impieghi per lamiera di spessore maggiore.

Gli impieghi finali delle lamiera si caratterizzano per i requisiti di saldabilità, resistenza allo snervamento, tenacità alle basse temperature, resistenza allo scorrimento viscoso a caldo.

La maggior parte delle lamiera è in acciaio al carbonio, con tenori di carbonio tendenzialmente bassi, dato che questo elemento provoca un deterioramento della saldabilità; una classe importante è costituita dagli acciai microlegati, contenenti piccolissime quantità di niobio e vanadio, che favoriscono l'affinamento della microstruttura e forniscono un apprezzabile contributo di indurimento per precipitazione. Lo stato di fornitura è per lo più grezzo di laminazione o normalizzato. L'aggiunta di elementi di lega è riservata a impieghi particolari e alla bonifica e, in corrispondenza dei livelli resistenziali più elevati (carico di rottura 1000-1500N/mm²), riguarda tipicamente lamiera per impieghi anti-usura.

Le lamiera sono utilizzate principalmente per:

- Costruzione (travi saldate, ponti, bracci di gru mobili, telai per camion, cassoni, macchinari e attrezzature industriali, vagoni ferroviari);
- Piattaforme offshore;
- Tubi di grande diametro per condotte (trasporto acqua, gas, metano e petrolio);

- Cantieristica navale (scafo, serbatoi per trasporto dei gas liquefatti);

5.4 – PRODOTTI LUNGHI

5.4.1 – Barre

Possono essere ottenuti per laminazione, per fucinatura, per estrusione.

Sono prodotti rettilinei che possono avere diverse sezioni: tonda, quadrata, esagonale. In particolare sono detti **tondi** quando hanno sezione circolare con un diametro di almeno 5mm e **quadri** quando hanno sezione quadrata di almeno 6mm di lato.

I **piatti** hanno invece sezione rettangolare con spessore non inferiore a 3mm e larghezza non maggiore di 150mm.

I **larghi** piatti sono prodotti rettilinei che si differenziano dalle lamiere poiché sono laminati anche sulle facce di minor spessore.

Molte applicazioni riguardano il settore auto e la trattoristica; sono utilizzati infatti per la realizzazione di componenti meccanici come ingranaggi, alberi a camme, alberi di trasmissione, semiassi, bielle, aste per pistoni, giunti cardanici, ecc.

5.4.2 – Profilati a caldo

Sono prodotti rettilinei, ottenuti per laminazione o per estrusione, aventi sezioni conformate a L, a U, a T, a doppio T oppure con profili più complessi.

Generalmente vengono utilizzati nell'industria delle costruzioni con le sezioni sopra citate; profili particolarmente difficili da realizzare sono invece le rotaie, destinate ai sistemi di trasporto urbano e ferroviario, per le quali si pongono requisiti molto stringenti in termini sia di tolleranze dimensionali,

sia di caratteristiche metallurgiche. In Figura 20 sono mostrati due profilati in linea di produzione; in Figura 21 invece sono schematizzati alcuni profili tipici per la realizzazione di rotaie.



Figura 20 – Profilati a caldo in linea di produzione.

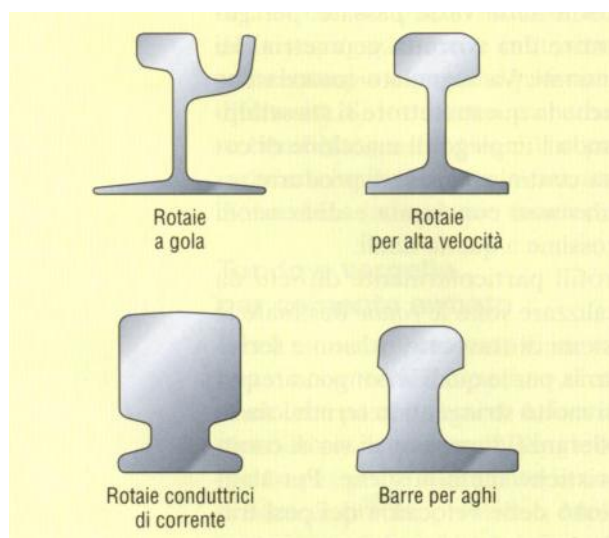


Figura 21 – Profili tipici per la realizzazione di rotaie.

5.4.3 – Vergelle

Viene ottenuta per laminazione a caldo e avvolta, sempre a caldo, in matasse di spire non ordinate (Figura 22). Solitamente è di sezione tonda con diametro non superiore a 15mm circa ma può essere anche di sezione quadra, ovale, ecc.



Figura 22 – Linea di produzione della vergella.

Hanno applicazione nel campo delle costruzioni per la realizzazione di reti elettrosaldate.

5.4.4 – Tubi

Si distinguono in due grandi categorie: i tubi senza saldatura e i tubi saldati. I primi sono ottenuti per laminazione a caldo o per estrusione, oppure combinando entrambi i processi. Per la particolare geometria del prodotto, gli impianti per la laminazione dei tubi presentano caratteristiche del tutto particolari e sono anche molto articolati in funzione della gamma dimensionale (diametri e spessori finiti), della materia prima (composizione e tipo di semilavorati), della produttività richiesta alla linea.

Le billette, di sezione in genere tonda, una volta portate alla temperatura di laminazione, vengono sottoposte ad un processo che si può così sintetizzare:

- perforazione della materia prima;
- allungamento del forato mediante laminazione;
- laminazione di finitura fino alle dimensioni richieste;
- eventuale deformazione plastica a freddo per modificare ulteriormente le dimensioni o conferire particolari caratteristiche meccaniche.

I tubi saldati invece sono ottenuti da un nastro opportunamente conformato per deformazione plastica a freddo così da costituire un corpo tubolare che successivamente viene saldato. La giunzione può essere longitudinale oppure elicoidale a seconda che il nastro sia curvato mantenendo le generatrici parallele oppure sia avvolto a spirale. I tubi saldati longitudinalmente sono molto più diffusi di quelli saldati elicoidalmente, riservati soprattutto alle sezioni maggiori.

Per quanto riguarda le applicazioni, tubi piccoli e di parete sottile vengono utilizzati per la distribuzione cittadina dei fluidi o per la costruzione di mobili (tubi forma); tubi di diametro elevato (spesso ottenuti per saldatura a spirale) sono invece destinati ad acquedotti ed a impianti petroliferi.

5.5 – PRODOTTI TRAFILATI

Sono ottenuti per trafilatura a freddo partendo da acciai laminati o estrusi. Ne consegue che tali prodotti risultano incruditi e quindi con resistenza meccanica nettamente superiore rispetto a quelli semplicemente laminati a caldo e eventualmente addolciti mediante trattamento termico.

I prodotti trafilati possono essere suddivisi in:

- fili, ottenuti da vergella per trafilatura, con sezione generalmente tonda ma a volte anche diversamente sagomata. Sono forniti in matasse o bobine e in caso eccezionale anche in spezzoni rettilinei; le sezioni dei fili vanno solitamente da alcuni millimetri di diametro a valori di alcuni centesimi di millimetro;
- barre e tondi trafilati, di sezione tonda o anche diversamente sagomata. Generalmente sono forniti in spezzoni rettilinei ma, a volte, anche in rotoli.

Le sezioni delle barre e dei tondi sono di dimensioni superiori a quelle dei fili.

BIBLIOGRAFIA

- Federacciai – “Acciaio, un Prodotto ad Alta Tecnologia”;
- W. Nicodemi – “Metallurgia”;
- W. Nicodemi – “Acciaio e Leghe non Ferrose”;
- J. Datsko – “Material Properties and Manufacturing Processes”;
- H.F. Schrew – “Continuous Casting of Steel, Fundamental and Practice”;
- E.S. Szekeres – “Continuous Casting Systems”;
- M. Locci – “Simulazione della inflessione del guscio solidificato nella colata continua di acciai inossidabili”, Tesi di Laurea;
- R. Massi – “Tecniche avanzate per la determinazione dei profili di solidificazione nella colata continua degli acciai inossidabili”, Tesi di Laurea;
- A. Gaiotto – “Sviluppo ed applicazione di un modello matematico di previsione dell’evoluzione termica e microstrutturale dei laminati a caldo”, Tesi di Laurea;
- M. Ghersi – “Principi di Laminazione”;
- www.kawasaki-steel-21st-cf-or.jp;
- www.steel.org;
- www.newsteel.com;
- www.aise.org.