

Steelmaster 2006



ISTITUTO PER LA CULTURA
E LA STORIA D'IMPRESA
"FRANCO MOMIGLIANO"



La Programmazione dell'acciaiera di Dalmine

AUTORE

Stefano Buday

RELATORE

Marco Carminati

INTRODUZIONE

Operare nel mercato competitivo moderno significa offrire prodotti qualitativamente conformi alle richieste, ad un prezzo concorrenziale e, sempre più negli ultimi anni, garantendo un livello di servizio elevato.

La garanzia dell'affidabilità di questo risultato "logistico", così come in ambito qualitativo, si ottiene strutturando i processi di Pianificazione e Programmazione Operativa della Produzione e finalizzandoli all'obiettivo "100% Compliance".

In Siderurgia, fino a poco tempo fa, l'attenzione delle aziende si è rivolta soprattutto al processo produttivo, al suo controllo e alla sua automazione.

Il successo di questa focalizzazione è evidente e gli standard qualitativi offerti al mercato, e che ora il mercato dà per scontati, sono estremamente elevati e le applicazioni sempre più spinte.

Nel mondo dei tubi, in particolare senza saldatura, le perforazioni per la ricerca di combustibili fossili arrivano a profondità fino a poco tempo fa impensabili.

Ma il vantaggio competitivo "tecnologico" e qualitativo non basta, non è l'unica arma per difendersi dalla concorrenza e dalle forti concentrazioni che rischiano di portare know how occidentali nelle mani di grandi investitori asiatici.

Occorre eccellere nel servizio, nel supporto dei clienti nei loro progetti, essere capaci di soddisfare in modo affidabile e ripetibile le loro richieste costruendo un processo stabile di Pianificazione, Inserimento e Gestione dell'ordine.

Tenaris, con le sue 14 grandi unità produttive e i suoi numerosi clienti, deve gestire un volume notevolissimo di informazioni e processi.

E' su questi che ho rivolto la mia attenzione, percorrendo la catena di rifornimento partendo dalla **PIANIFICAZIONE CENTRALE**, che alloca gli ordini alle unità produttive, passando dall'**ACCETTAZIONE LOCALE** di ogni gruppo di stabilimenti che valuta la fattibilità del piano di produzione proposto, fino ad arrivare alla **PROGRAMMAZIONE OPERATIVA** ed in particolare soffermandomi su quella dell'acciaieria, cuore della fabbricazione, che rifornisce i laminatoi primari e, attraverso questi, le lavorazioni successive di finitura, trafilatura e trattamento.

Le scelte di chi sequenzia le colate in acciaieria, conoscendone intimamente i vincoli ed il funzionamento, rappresentano gli atomi di una struttura in cui centinaia di persone decidono seguendo schemi solidi e condivisi, supportati da sistemi informativi sempre più unificati. Verso l'obiettivo 100% Compliance.

Stefano Buday

1 L'ACCIAIERIA: PRODOTTI E PROCESSI

1.1 Descrizione generale del reparto acciaieria

L'acciaieria è ubicata all'interno dello stabilimento della Tenaris Dalmine, sito nel comune di Dalmine (BG).

Ha un organico di circa 300 persone impegnate in quattro squadre distribuite su tre turni giornalieri, ognuna delle quali è coordinata da un capoturno, che fa riferimento direttamente al responsabile dell'acciaieria.

Ogni ciclo produttivo si sviluppa in due settimane, dalla domenica al secondo sabato successivo; la prima domenica la produzione viene arrestata per due turni per permettere l'esecuzione sia della manutenzione meccanica sia di quella elettrica di tutta l'area, nonché della manutenzione dei refrattari del forno.

La produzione di acciaio riprende con il terzo turno della prima domenica per procedere ininterrottamente fino al terzo turno del sabato della seconda settimana, ad eccezione di una fermata di quattro ore nella giornata del lunedì successivo alla domenica lavorativa, realizzata al fine di eseguire lavori di pronta manutenzione.

In totale, nelle due settimane di cui si compone ogni ciclo lavorativo, gli addetti all'acciaieria lavorano per un totale di 40 turni, di cui 19 effettuati dalla prima domenica al sabato seguente, i restanti 21 attuati nel periodo compreso tra il primo turno della domenica lavorativa ed il terzo turno del secondo sabato.

	W _n							W _{n+1}							
GIORNO	D	L	Ma	Me	G	V	S	D	L	Ma	Me	G	V	S	D
TURNO 1	■	■	■	■	■	■	■	■	1/2	■	■	■	■	■	■
TURNO 2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
TURNO 3	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Tabella 1: schema dei turni settimanali

1.2 Il prodotto

Il prodotto base dell'acciaieria è un **blumo avente sezione circolare**.

I blumi possono avere dimensioni diverse a seconda del laminatoio in cui verranno lavorati e della loro destinazione: 148, 180, 225, 260, 320, 360 e 395 mm.

Le due macchine in colata continua, CCO1 (verticale) e CCO2 (curva), coprono singolarmente i seguenti range dimensionali: 320, 360 e 395 mm la prima, 148, 180, 225 e 260 mm la seconda.

	DIAMETRI BARRE				
CCO1	395	360	320	280	240
CCO2	148	180	225	260	

Tabella 1.1: diametro dei blumi prodotti da CCO1 e da CCO2

I blumi vengono prodotti in lunghezza multipla delle lunghezze unitarie che verranno poi ottenute al laminatoio mediante tagli successivi del blumo stesso (da un minimo di 2 a 3 o 4 tagli) e che costituiranno l'unità di carica del laminatoio.

La CCO1 produce blumi di lunghezza minima pari a 3,5 m e massima 8 m, la CCO2 di lunghezza minima pari a 7 m e massima pari a 12,5 m.

L'acciaieria effettua mediamente 30 colate al giorno.

Il mercato che rifornisce è totalmente interno; infatti, i blumi prodotti sulla macchina 1 vengono totalmente utilizzati dalla Fabbrica dei Tubi Medi (FTM) e dal laminatoio Expander, mentre la CCO2 fornisce con il 30% della sua produzione FTM e con il 70% ca. FAP e ARCORE.

Se facciamo riferimento al totale delle tonnellate di acciaio prodotte dall'acciaieria, possiamo assumere il 75% come appannaggio di FTM ed EXPANDER ed il 25% come destinato a FAP ed ARCORE.

1.2.1 Settori di impiego

La tipologia dell'acciaio prodotto e della macchina di colata utilizzata individuano diversi settori di impiego e differenti destinazioni delle barre a livello di laminatoio:

ARCORE: tubi per applicazioni meccaniche;

FAP: tubo gas, tubi per applicazioni meccaniche, caldaie, termica, tubing;

FTM e EXPANDER: petrolchimica (anche tubi di grosso spessore: forni, tubi per trasporto di fluidi ad alta temperatura), casing, tubing, line pipe, semilavorati per terzi, tra cui: l'Expander stesso (perché FTM elabora in effetti un semilavorato per Expander), lo stabilimento di Costa Volpino e trafilatori esterni.

1.2.2 Classificazione degli acciai

Gli acciai fabbricati dall'acciaieria Dalmine sono stati codificati con un codice interno in un'apposita classifica dove, per ogni acciaio, sono riportati (in forcella) i principali elementi che lo contraddistinguono e le limitazioni massime di "impurità" o di elementi non intenzionalmente aggiunti.

Il codice numerico che distingue gli acciai nella classifica è formato da tre cifre che (in una numerazione da 000 e 499) è in parte "parlante" (anche se l'inserimento di un numero sempre maggiore di acciai ha in qualche caso falsato la logica di codifica originaria); infatti:

- **Acciai al C:** sono contraddistinti dalla cifra 0 quale primo numero; i numeri successivi indicano approssimativamente il valore minimo di snervamento atteso per quell'acciaio;
- **Acciai bassolegati e legati:** la prima cifra (da 1 a 4) indica quanti elementi di lega principali sono contenuti, il secondo si riferisce al tipo di elemento legante (ad esempio il numero 115 contraddistingue un acciaio con Ni, il numero 230 un acciaio con Cr e Mo).

La denominazione degli acciai è la seguente:

Acciai al C: contenenti, oltre al carbonio, Mn in concentrazioni non superiori a 1,4% ca. ed altri elementi residui, non aggiunti intenzionalmente;

Acciai bassolegati: contengono, oltre a C e Mn, elementi di lega fino ad un massimo del 4-5%;

Acciai altolegati: contengono elementi di lega in concentrazioni superiori al 5%.

La fabbricazione degli acciai legati è praticamente identica a quella degli acciai al carbonio; la differenza sostanziale consiste nel fatto che in essi vengono aggiunti gli elementi di lega fino all'ottenimento dell'analisi chimica richiesta. Le ferroleghie sono materiali metallici che contengono ferro e uno o più elementi di lega in percentuale elevata (dal 60% al 90%) e si distinguono in carburate (che apportano C) o affinate, in funzione del tenore di carbonio.

1.3 Processo produttivo

1.3.1 Materie prime

Le materie prime utilizzate per la fabbricazione dell'acciaio possono essere raggruppate in tre grosse famiglie:

- **ROTTAME**

- **GHISA**

- **FERROLEGHE**

La ghisa è totalmente importata dall'estero, in quest'ultimo periodo quasi esclusivamente dall'Algeria, in quanto il materiale in questione proveniente da questo stato presenta caratteristiche chimiche particolarmente confacenti alle necessità dell'acciaieria Dalmine. Altre fonti minori ed occasionali sono rappresentate da Russia ed Ucraina; l'approvvigionamento da queste nazioni risulta però abbastanza penalizzante, poiché, al contrario di quanto si verifica per le importazioni dall'Algeria (per le quali non si paga dazio), il costo della ghisa proveniente da questi Stati risulta maggiorato di un tasso pari al 2-3% del prezzo di acquisto ed ulteriormente gravato da costi di trasporto piuttosto elevati; Russia ed Ucraina inoltre hanno stabilito rapporti preferenziali con gli USA dai cui Stati del Sud importano cereali a fronte di forniture di ghisa.

Il rottame, nella misura del 60-70%, viene importato dall'estero (e precisamente: 30% dalla Francia, 30% dalla Germania, 10% da Paesi extra UE); il rimanente 30-40% ha provenienza nazionale.

Il rottame, in base alle disposizioni vigenti nella Unione Europea in merito a Carbone ed Acciaio, risulta suddiviso in categorie che, come sono definite nella nomenclatura, si riferiscono esclusivamente ad acciai al carbonio.

I rottami devono essere esenti:

- da metalli non ferrosi, da qualsiasi elemento nocivo apparente, da materiali esplosivi e infiammabili, da corpi estranei non metallici, soprattutto rivestimenti di materie plastiche;
- da elementi di lega, come cromo, cobalto, manganese, molibdeno, nichel, silicio, vanadio, wolframio, ecc., in proporzioni da determinarsi di comune accordo tra fornitori e acquirenti.

Sono esclusi i corpi cavi le con estremità chiuse o schiacciate.

Il materiale approvvigionato viene catalogato, classificato (operazioni effettuate quasi esclusivamente a livello visivo) e stipato in un'apposita area all'interno dello stabilimento a Dalmine; i criteri di classificazione si basano essenzialmente sulla valutazione delle:

- caratteristiche dimensionali;
- analisi di laboratorio: su materiale omogeneo si effettuano esami su un unico campione, nel caso di materiali eterogenei o la cui analisi chimica non sia conosciuta, si procede alla fusione di alcuni campioni ed alla valutazione degli elementi contenuti.

Tutto Il rottame proveniente è sottoposto anche ad un controllo della radioattività.

E' consuetudine dell'acciaieria Dalmine indicare le possibili cariche da introdurre nel forno con le lettere A, B e C, in relazione al loro diverso contenuto di rame: la carica A (la peggiore da un punto di vista qualitativo, in quanto il Cu tende a "sgranare" l'acciaio)

contiene rame in tenori inferiori al 25%, la carica B deve possederne in quantità inferiori al 20% e la carica C meno del 15%.



Figura 1: parco rottami

1.3.2 Preparazione del fuso nel forno ad arco

L'acciaieria dispone di tre apparati fondamentali per l'elaborazione dell'acciaio:

- il forno fusorio;
- il forno di trattamento;
- la macchina per colata continua.



Figura 2: forno fusorio

Il forno fusorio è preposto alla trasformazione del rottame in fuso; al termine del processo di fusione, il metallo liquido presenta approssimativamente la seguente analisi chimica: C=0,1%, Mn=0,2%, Si assente, P=0,015%, S=0,030%, Al assente e oligoelementi. Questi ultimi (Cu, Sn, Bi, As, Sb) possono essere controllati unicamente tramite la selezione del materiale di carica da introdurre nel forno.

Il contenuto di carbonio nell'acciaio può essere ridotto esclusivamente all'interno della macchina fusoria; nelle fasi successive è possibile solo incrementare la concentrazione di tale elemento, ma non diminuirla.

La macchina fusoria dell'acciaieria Dalmine è un forno ad arco diretto a suola conduttrice, con tre elettrodi alimentati a corrente alternata; questi sono costituiti da grafite trattata e lavorata in modo tale da garantire ad essi elevate proprietà elettriche e meccaniche.

L'alimentazione del forno è realizzata mediante un trasformatore caratterizzato da una potenza nominale pari a 100 MVA; la potenza di esercizio è di circa 60-70 MVA.

L'arco si stabilisce direttamente tra l'estremità dell'elettrodo e la carica metallica; il processo di fusione di quest'ultima avviene principalmente in conseguenza del calore prodotto dall'arco.

Il riscaldamento del metallo è dovuto sia alla trasmissione del calore per convezione, conduzione ed irraggiamento che si determina nel punto caldo della colonna d'arco direttamente in contatto con la carica solida o il bagno metallico, sia all'irraggiamento dell'arco direttamente sul bagno e per riflessione sulla volta del forno, sia, ancora, ad un effetto di convezione dovuto alla colonna d'arco che proietta intorno gas ad elevatissima temperatura.

La disposizione degli elettrodi all'interno del forno fa sì che lungo la circonferenza di questo si abbiano dei punti caldi in corrispondenza delle tre zone prossime agli elettrodi e dei punti freddi in corrispondenza delle regioni situate fra gli stessi.

Tale situazione implica quindi che la fusione del rottame lungo le pareti della macchina fusoria non avvenga in maniera uniforme: si verifica prima in corrispondenza dei punti caldi (lasciando tra l'altro la parete esposta alle sollecitazioni termiche provocate dall'irraggiamento dell'arco) e successivamente nelle zone fredde; ciò può determinare il franamento del rottame all'interno del forno con conseguente urto degli elettrodi e probabile rottura degli stessi.

Per ovviare a tale inconveniente, cinque bruciatori alimentati a metano ed ossigeno, collocati lungo la circonferenza del forno, indirizzano le loro fiamme all'interno di questo nelle zone fredde, consentendo una fusione più uniforme ed una discesa regolare del rottame.

I bruciatori forniscono una potenza addizionale, di tipo chimico (dell'ordine di 30-40 MW), che consente di ottenere una più omogenea fusione del rottame e di abbreviare i tempi necessari all'esecuzione della stessa.

Il forno è costituito da un crogiuolo cilindrico (tino) ad asse verticale, chiuso sul fondo da una calotta concava, in lamiera imbutita su cui è disposta la suola in **materiale refrattario, di tipo basico, e superiormente da una volta.**

Ad una certa altezza sopra la linea di scoria sono montati pannelli metallici raffreddati a circolazione d'acqua.



Figura 3: materiale refrattario

Gli elettrodi sono concentrati nella parte centrale del crogiuolo: gli archi tra elettrodi e carica metallica sono localizzati nella parte più bassa del crogiuolo stesso; ne consegue che le pareti e la volta risultano meno sollecitate termicamente dal calore irradiato dall'arco.

L'energia irradiata sulle pareti del forno risulta funzione della potenza e della tensione dell'arco e della distanza elettrodo-parete; aumentando quest'ultima grandezza diminuisce l'entità della sollecitazione termica subita dalle pareti stesse.

Gli elettrodi del forno sono disposti verticalmente ed in modo tale che, se osservati dall'alto, risultano posizionati ai vertici di un triangolo equilatero; ciò garantisce un'adeguata simmetria al circuito elettrico.

L'introduzione della carica metallica nel forno viene effettuata dall'alto per mezzo di apposite ceste, dopo che si sia provveduto a sollevare e spostare lateralmente la volta del forno e gli elettrodi in modo da consentire l'immissione della carica nel crogiuolo.

Durante il processo di fusione, la posizione in altezza degli elettrodi può essere variata sia in funzione dell'andamento del processo metallurgico sia per altre esigenze connesse con la marcia del forno; il movimento verticale degli elettrodi è comandato da un

operatore che presiede allo svolgimento delle operazioni relative al forno da una cabina di comando.

Il forno è dotato di un sistema di captazione e abbattimento fumi; la captazione è effettuata in depressione attraverso il quarto foro della volta: tramite un'apposita conduttura i fumi sono convogliati agli impianti di filtraggio e di abbattimento delle polveri.

Come è stato già riferito in precedenza, la volta del forno è mobile e ciò consente di procedere dall'alto alla carica dello stesso mediante introduzione successiva del contenuto di due ceste riempite rispettivamente con 60 e 38 tonnellate di materiale, per un totale di 98 tonnellate di carica.

Risulta opportuno distinguere la carica (solida per il 100%) nelle sue componenti e precisamente:

- carica metallica propriamente detta, costituita da rottami di ferro (90%) e ghisa (10%);
- scorificanti: calce, calce magnesiaca e antracite.

Questi costituenti sono opportunamente dosati in funzione del tipo di acciaio da produrre.

Al fine di economizzare energia elettrica, si preriscalda il materiale contenuto nella prima cesta mediante bruciatori a gas prima di caricarlo nel forno; il contenuto della seconda cesta viene invece immesso direttamente nel crogiuolo.

Gli scorificanti sono introdotti in forma solida nel forno attraverso un'apposita apertura della volta e fondono a contatto col fuso o in conseguenza dell'irraggiamento dell'arco; la loro funzione consiste nel promuovere la formazione della scoria (processo estremamente importante in quanto tutte le reazioni chimiche che hanno luogo all'interno del fuso sono indotte dal contatto scoria-metallo).



Figura 4: scoria

Durante il processo di fusione, nella parte inferiore del forno si forma una pozza contenente fuso e scoria che assume dimensioni e volume via via maggiori fino a che, raggiunto il punto di *melt-down* (quando cioè tutto il rottame è giunto a fusione), uno strato di scoria, anch'essa completamente fusa ed omogenea, è presente su tutta la superficie del fuso in conseguenza della sua minore densità rispetto a quella del mezzo liquido; il sistema, a fine fusione, sarà quindi costituito dalle due fasi caratteristiche metallo-scoria.

Nello specifico, il bagno metallico è ferro liquido con disciolte percentuali variabili (ed eventualmente nulle) dei seguenti elementi: C, Si, Mn, Al, Zn, Cr, V, W, Ti, Ni, Co, Cu, Mo, Sn, P, S, O, N, H, ecc.; la scoria è costituita da CaO, SiO₂, FeO, MnO, MgO, Al₂O₃, P₂O₅, CuS, MnS, ecc., con composizioni molto variabili a seconda delle particolari condizioni operative.

Le reazioni esotermiche promosse dall'azione dell'ossigeno forniscono un contributo energetico di circa 4 kWh/Nm³, permettendo, di conseguenza, una riduzione dei consumi di energia elettrica.

Durante il processo di ossidazione del bagno metallico, ha luogo un'azione di prima affinazione: oltre a promuovere la defosforazione, l'ossigeno fa sì che la maggior parte

degli elementi contenuti nella carica siano ossidati ed eliminati dal bagno in maniera più o meno completa.

Il forno è dotato di un foro di colaggio (EBT: Eccentric Botton Tapping) praticato sul fondo in posizione eccentrica; tale dispositivo, oltre a consentire di evitare la formazione di gorgi ed a permettere di ottenere un flusso rapido e compatto, risulta il metodo più efficace per impedire il trascinarsi di scorie durante la fase di colaggio.



Figura 5: tapping

Il livello al quale si trova il foro risulta più elevato rispetto al fondo del forno, data la geometria concava della suola; pertanto il processo di colaggio richiede che il forno sia inclinato per consentire la fuoriuscita del fuso.

In realtà la macchina fusoria non viene completamente svuotata ad ogni colaggio, ma al suo interno rimane una certa quantità residua di materiale liquido che trattiene le scorie di fine operazione. Questa pratica operativa (detta del "piede di bagno") consente inoltre di ottenere dei vantaggi aggiuntivi:

- l'avvio delle operazioni successive all'interno del forno risulta agevolato, in quanto la presenza al suo interno di una certa quantità di materiale fuso rende più efficiente il processo di fusione del contenuto della prima cesta di rottame;
- può essere insufflato ossigeno fin dall'inizio, in modo da anticipare le reazioni metallurgiche;

- gli elettrodi stabilizzano quasi subito l'arco e quindi risulta possibile sfruttare sin dall'inizio tutta la potenza necessaria per fondere la carica, con conseguente riduzione del tempo complessivo di fusione;
- i refrattari della suola risultano più protetti.

La temperatura teorica di liquidus del fuso è di 1530-1540 °C; lo spillaggio avviene ad una temperatura di circa 1670-1680 °C, cioè il bagno metallico risulta surriscaldato di circa 150 °C.

Tale scelta operativa è imputabile al fatto che l'acciaio per essere elaborato deve essere sempre in fase perfettamente liquida e quindi risulta opportuno superare convenientemente l'intervallo di fusione del metallo a fine conversione.



Figura 6: descorificazione e colaggio

1.3.3 Elaborazione dell'acciaio fuori forno

All'unità fusoria di cui si è trattato nel precedente paragrafo, in grado di fondere in tempi assai brevi il rottame (in Dalmine, il tempo medio che intercorre tra due colaggi successivi, o tempo di "tap to tap", è di 42 minuti), è abbinata un'unità esterna, il forno siviera (o L.F.: Ladle Furnace) che permette di effettuare le operazioni necessarie per ottenere la qualità metallurgica desiderata. Gli obiettivi che si perseguono con il trattamento fuori forno sono sostanzialmente seguenti:

- il miglioramento dell'uniformità di temperatura e di composizione chimica del metallo liquido;
- la riduzione del contenuto di gas (azoto ed idrogeno);
- il completamento del processo di decarburazione a spese dell'ossigeno residuo del precedente trattamento in forno;
- possibilità di una decarburazione molto spinta evitando una eccessiva ossidazione del metallo;
- una migliore disossidazione dell'acciaio e quindi un abbassamento del suo contenuto di inclusioni non metalliche;
- una loro migliore distribuzione con l'ottenimento di inclusioni di forma e dimensioni meno dannose alle proprietà dell'acciaio;
- una desolforazione spinta;
- la possibilità di correzioni analitiche finali più accurate;
- contenimento della dispersione di analisi fra le diverse colate del medesimo tipo di acciaio;
- possibilità di aggiunte finali di disossidanti e dei correttivi di analisi effettuate in condizioni favorevoli per assicurare una loro migliore resa.

Uno degli obiettivi principali della metallurgia secondaria consiste nella produzione di un acciaio "pulito", cioè di un prodotto che soddisfi normative sempre più stringenti e risponda in maniera ottimale ai requisiti di impiego imposti dall'introduzione di tecnologie sempre più avanzate. Le richieste del mercato in ordine alle caratteristiche di qualità richieste all'acciaio sono riferibili soprattutto:

- alla riduzione del tenore degli elementi nocivi a valori estremamente bassi;
- al controllo delle inclusioni non metalliche, in modo che sia garantito un contenuto minimo se non nullo di quelle più pericolose, quali ad esempio gli ammassi di allumina e solfuri;
- all'introduzione di tecniche di progettazione delle inclusioni stesse mediante trattamenti specifici con elementi particolari;
- al raggiungimento di tolleranze analitiche molto ristrette per assicurare la costanza delle proprietà;
- alla produzione di acciai caratterizzati da superfici con un elevato grado di omogeneità e qualità, anche su scala microscopica. L'omogeneità ha un'importanza rilevante, in quanto le proprietà dell'acciaio sono determinate dalla distribuzione di un dato elemento più che dal tenore medio di questo.

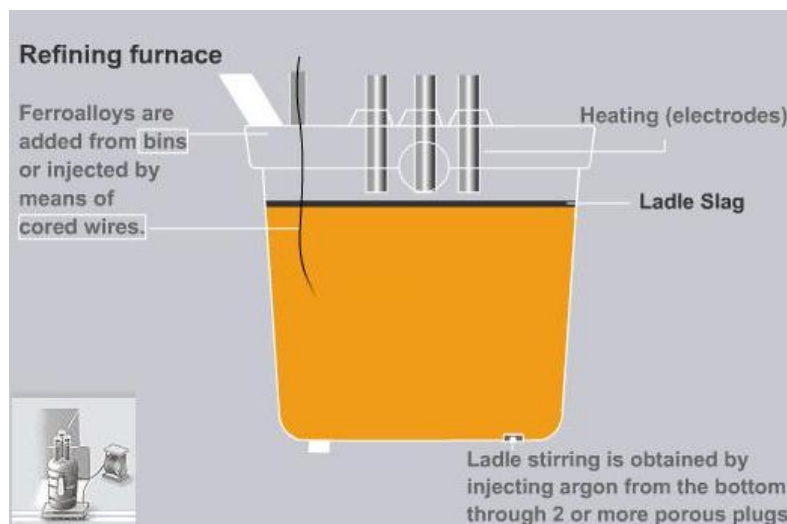


Figura 7: LF ladle furnace

Il forno siviera è una stazione di elaborazione metallurgica; è costituita essenzialmente da una siviera propriamente detta (recipiente cilindrico costruito in acciaio e rivestito internamente da materiale refrattario) dotata di un impianto di riscaldamento ad arco elettrico e di un sistema di mescolamento del bagno metallico realizzato mediante insufflazione di argon.

Le potenze installate sono comunque inferiori rispetto a quelle del forno: in siviera è infatti richiesto solo il mantenimento della temperatura o un riscaldamento non particolarmente spinto che consenta di conservare il bagno metallico in fase liquida; tali azioni vengono effettuate mediante somministrazione di energia radiante fornita dagli elettrodi.

La volta è necessaria per mantenere un'atmosfera inerte sopra il bagno e limitare la perdita di calore per irraggiamento.

La siviera, prima che accolga il liquido spillato dal forno, viene riscaldata fino ad una temperatura pari a 1000 °C ca.

Durante la fase di spillaggio sono previsti trattamenti finalizzati alla messa a punto dell'analisi dell'acciaio; queste operazioni, che contemplano l'aggiunta di circa l'80% della domanda di ferroleghie e l'introduzione di scorificanti, si basano sullo sfruttamento dell'energia cinetica del getto per promuovere il mescolamento tra il materiale introdotto ed il metallo fuso.

Ogni 10-15 minuti circa, si procede al prelievo dalla siviera di campioni di metallo che vengono inoltrati per via pneumatica alla prova spettrometrica (che permette di verificare la corretta messa in forcilla degli elementi contenuti nel bagno metallico) e si effettuano misurazioni della temperatura all'interno della siviera mediante termocoppie.

Nella parte inferiore della siviera sono posizionati due tappi di forma conica collegati con tubi che permettono l'insufflazione di argon (gas inerte che non presenta alcuna affinità con il liquido metallico contenuto in L.F.); tale procedura permette di:

- mantenere in condizioni di mescolamento la massa fluida e migliorare il grado di omogeneizzazione della temperatura e della composizione chimica del bagno metallico;
- promuovere ed incrementare la velocità di decantazione delle inclusioni: infatti, poiché l'insufflazione di argon determina un aumento dell'energia cinetica delle particelle (allumine, silicati, ossidi, solfuri, ecc.) presenti nel metallo liquido, risulta molto probabile che dall'incontro tra due di queste si formi un'unica particella avente dimensioni (fino a qualche decina di micron) superiori rispetto a quelle delle due originarie. La possibilità per tali inclusioni di separarsi dal bagno metallico, salire in superficie e raggiungere la scoria, dipende essenzialmente dalla loro velocità v , che risulta essere funzione proprio delle loro dimensioni.

1.3.4 Colaggio dell'acciaio

Dalla siviera il bagno metallico viene colato, attraverso uno scaricatore in refrattario a forma di tubo (detto "busetta" ed avente la funzione di assicurare un deflusso regolare all'acciaio), in un recipiente, rivestito anch'esso in refrattario, chiamato panierina o "tundish"; questo contenitore consente di ripartire l'acciaio fra 4 diverse linee operanti in parallelo (lingottiere o cristallizzatori) collegate alla panierina mediante tubi ceramizzati amovibili che fungono da meccanismi di regolazione del getto.

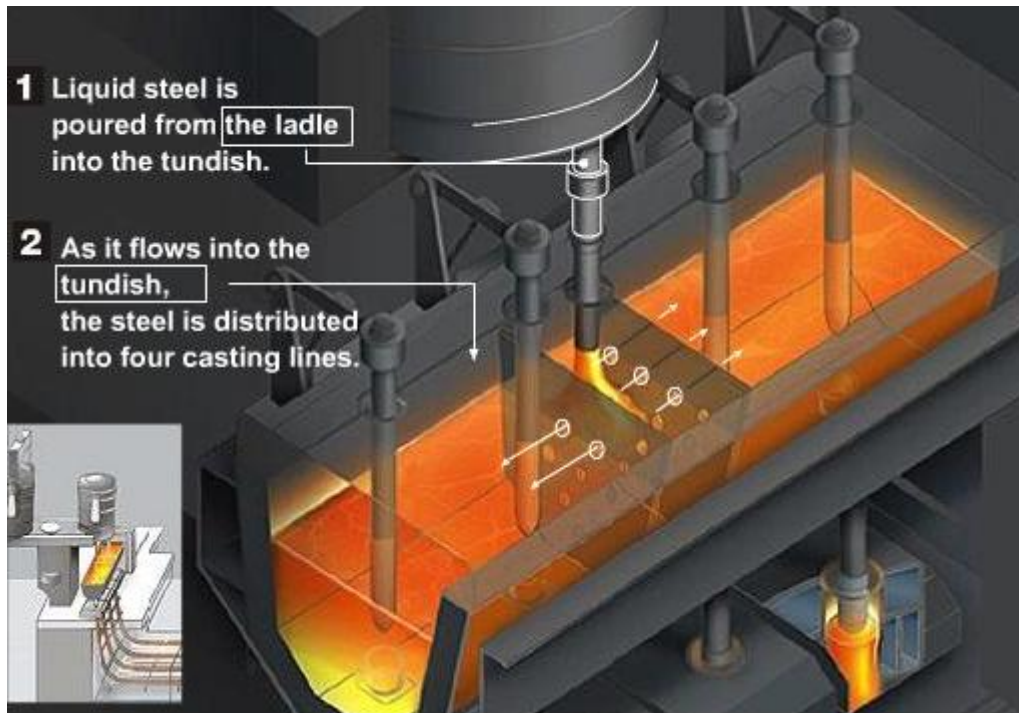


Figura 8: tundish

La lingottiera consiste in un contenitore in rame, senza fondo, raffreddato mediante circolazione d'acqua. Essa deve permettere, nel breve periodo di permanenza dell'acciaio, la formazione di un sottile strato superficiale solidificato che consenta al metallo di autosostenersi. All'uscita della lingottiera la barra viene raffreddata mediante un getto d'acqua in pressione, quindi prosegue la propria discesa opportunamente guidata e sostenuta da un sistema di rulli di appoggio; l'operazione di colata è ultimata da appositi dispositivi che procedono al taglio della barra ed all'evacuazione dei pezzi.

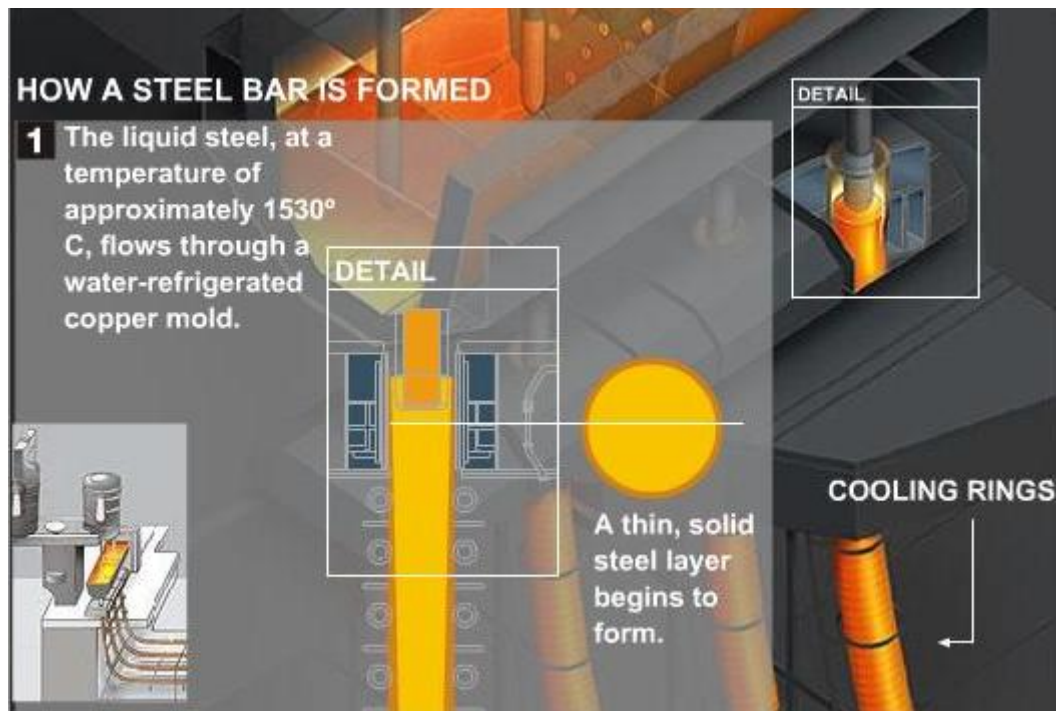


Figura 9: lingottiera

Il processo di colaggio viene effettuato dalla macchina in colata continua senza interruzioni fino al completo svuotamento della siviera.

1.3.5 Solidificazione in colata continua

Risulta opportuno analizzare maggiormente nei dettagli il processo di solidificazione dell'acciaio: all'interno della paniera il metallo liquido sale di livello finché trascina all'interno dei tubi ceramizzati attraverso i quali raggiunge l'ingresso della lingottiera, al cui interno, ad una determinata profondità, è posizionata una cosiddetta "falsa barra" (barra in rame la cui presenza impedisce all'acciaio liquido di cadere verso il basso per gravità). Il metallo continua a fluire e riempie progressivamente la lingottiera al di sopra della falsa barra fino a che non raggiunge un livello prefissato (uno scintillatore posizionato a tale livello permette di rilevare gli impulsi emessi da una sorgente γ , il numero dei quali diminuisce drasticamente se fra tale rivelatore e la sorgente si viene a frapponere acciaio).

In presenza di acciaio, il sistema procede automaticamente all'estrazione del falso blumo; ciò determina la discesa progressiva e controllata del metallo liquido all'interno della lingottiera ad una velocità, regolata da un dispositivo automatico, tale da garantire una situazione di equilibrio tra la portata del blumo che procede all'interno del cristallizzatore, e la portata del metallo immesso in esso; in questo modo il livello di acciaio all'interno della lingottiera si mantiene costante.

Attraverso la lingottiera, raffreddata con acqua, avviene la sottrazione di calore al metallo in colaggio; ciò consente la formazione di un "guscio" di acciaio solido il cui spessore è tale da permettergli di sopportare la pressione ferrostatica esercitata dal metallo liquido e di agevolare il processo di estrazione della barra. Se tale "mantello" di acciaio solido non risulta essere adeguatamente spesso, si verifica il cosiddetto fenomeno del *break out*: il guscio si rompe e fuoriesce la massa liquida. Lo spessore minimo della crosta solida necessario ad evitare la situazione di break out varia a seconda della sezione del blumo ed è valutabile in circa 10-30 mm. Il tempo di permanenza in lingottiera e, corrispondentemente, la velocità di colata risultano quindi strettamente connessi alla velocità di solidificazione che, a propria volta, dipende dai complessi scambi termici che hanno luogo nel cristallizzatore.

In linea teorica, la quantità di acciaio che può essere colata nell'unità di tempo risulta proporzionale al perimetro della sezione di colata. La portata oraria, caratterizzante la capacità produttiva, risulta essere fortemente condizionata dalla sezione (forma e dimensioni) in quanto dipende dalla velocità di estrazione e dalla superficie della sezione estesa.

In conseguenza della intensa sottrazione di calore che si verifica nella lingottiera e la conseguente formazione dello strato solido di acciaio, si osserva una contrazione della superficie dei blumi che provoca un distacco del guscio formatosi dalla parete della lingottiera stessa, con conseguente riduzione del flusso termico.

Il guscio solido continua però, nel frattempo, a ricevere ulteriore calore dall'acciaio liquido, mentre la spinta ferrostatica, durante la discesa, aumenta progressivamente; lo strato solidificato si deforma fino a ritornare in contatto con le pareti della lingottiera.

Per evitare lo scorrimento diretto del blumo sulla superficie interna della lingottiera ed il conseguente rischio di aderenze, si ricorre all'utilizzo di lubrificanti (oli vegetali, minerali) che fungono anche da resistenza termica ulteriore.

Inoltre, sempre al fine di evitare incollamenti e garantire un funzionamento uniforme, la lingottiera è dotata di un movimento oscillatorio.

Col procedere della solidificazione, lo spessore della crosta aumenta progressivamente, mentre inizia la contrazione termica per effetto della quale, unitamente alle deformazioni plastiche concomitanti, la barra assume una forma tendenzialmente ellittica.

All'uscita dalla lingottiera, il blumo è sottoposto a raffreddamento secondario realizzato mediante getti d'acqua orientati a 360° e caratterizzati da una pressione tale da eliminare il velo di vapore che si forma sulla superficie della barra.

La velocità di solidificazione determina la "lunghezza metallurgica", cioè la distanza tra il menisco dell'acciaio liquido e la quota alla quale si completa la solidificazione; in corrispondenza di questa vengono collocati i rulli estrattori; dalla lunghezza metallurgica risulta quindi dipendere il proporzionamento di tutto l'impianto.

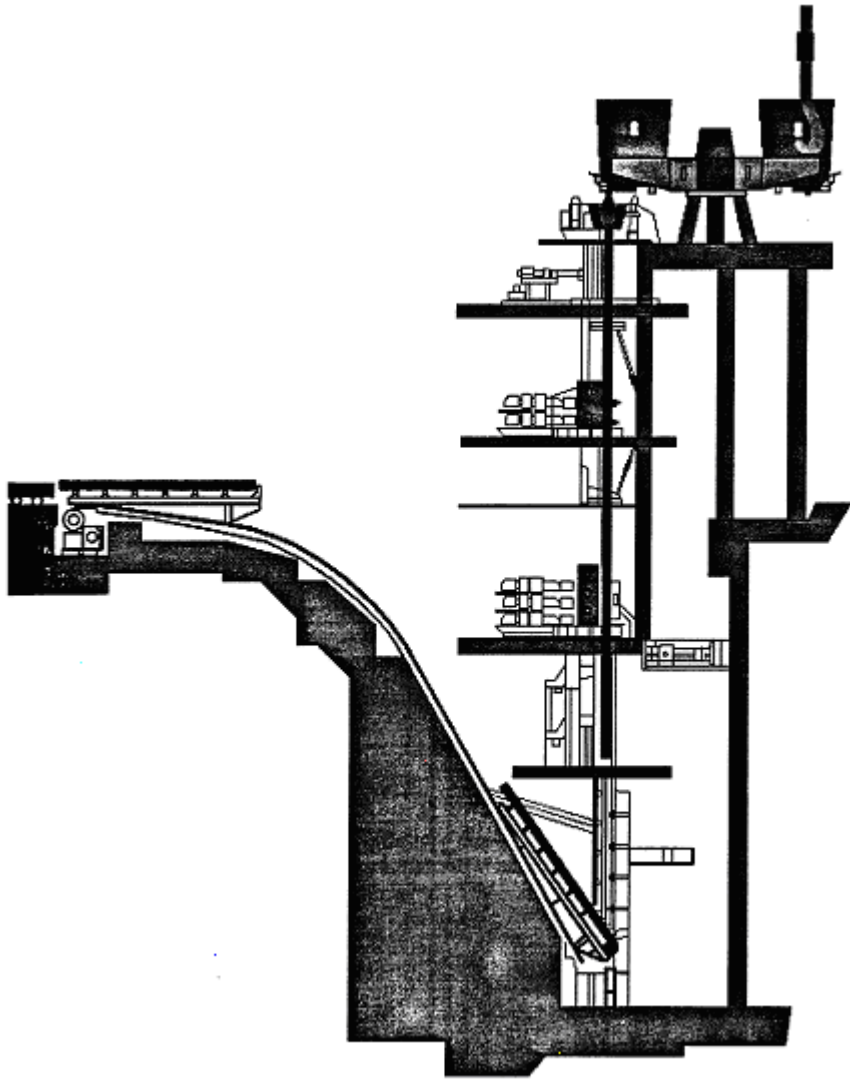


Figura 10: CCO1

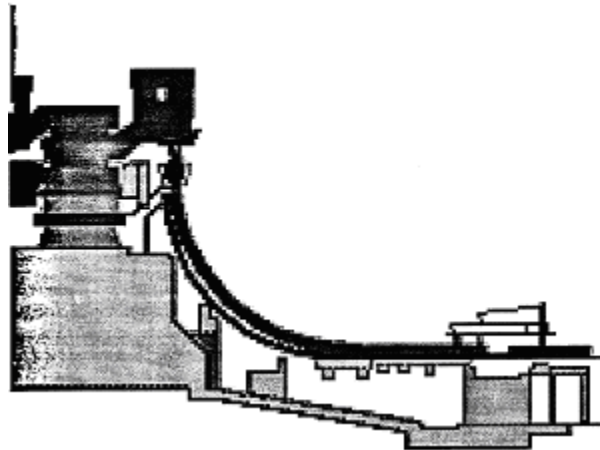


Figura 11: CCO2

1.3.6 Principali fattori produttivi

I fattori produttivi di cui si avvale l'acciaieria (oltre naturalmente alle materie prime ghisa e rottame) consistono essenzialmente in:

- *ENERGIA ELETTRICA*
- *OSSIGENO*
- *METANO*
- *ELETTRODI IN GRAFITE*
- *SCORIFICANTI*
- *FERROLEGHE*
- *ARGON*
- *MANODOPERA*
- *POLVERI LUBRIFICANTI/ISOLANTI*
- *MATERIALE REFRATTARIO*

Gli impianti e le strutture che utilizzano tali fattori produttivi sono:

- *BRACCI CONDUTTORI DI CORRENTE*
- *BRUCIATORI AD OSSIGENO –METANO*

- *LANCIA SUPERSONICA RAFFREDDATA AD ACQUA*
- *LANCIA AD INIEZIONE DEL CARBONIO*
- *SISTEMA DI COLLEGAMENTO DEGLI ElettRODI*
- *SISTEMA DI PRERISCALDO DEL ROTTAME*
- *IMPIANTO AUTOMATICO DI AGGIUNTA DELLE LEGHE*
- *TRASFORMATORE DA 100 MVA*
- *SISTEMA TLS A TAPPI POROSI*
- *CABINA DI CONTROLLO DEL FORNO*
- *FORNO CON SPILLAGGIO EBT*
- *SISTEMA DI REGOLAZIONE DEGLI ElettRODI*
- *MANIPOLATORE PER IL CAMPIONAMENTO E LA MISURA DI TEMPERATURA*
- *MACCHINA "PUSHING"*
- *2 SIVIERE (L.F.) PER L'ELABORAZIONE DELL'ACCIAIO*
- *IMPIANTO DI DEGASSAGGIO SOTTOVUOTO*
- *2 MACCHINE DA COLATA CONTINUA*

2 LA PROGRAMMAZIONE DELL'ACCIAIERIA

2.1 Il processo di Pianificazione

Il processo di pianificazione Tenaris si compone delle seguenti fasi:

- **PIANIFICAZIONE CENTRALE** che viene svolta dall'unità centrale di pianificazione in Argentina;
- **PROCESSO DI ACCETTAZIONE LOCALE** in Tenaris Dalmine, volta a verificare la fattibilità del piano aggregato giunto dall'Argentina;
- **PROCESSO DI PROGRAMMAZIONE OPERATIVA DEI LAMINATOI**: a sua volta suddivisa (concettualmente) in programmazione calibri e programmazione sequenze di lavorazione;
- **PROCESSO DI PROGRAMMAZIONE OPERATIVA DELL'ACCIAIERIA**

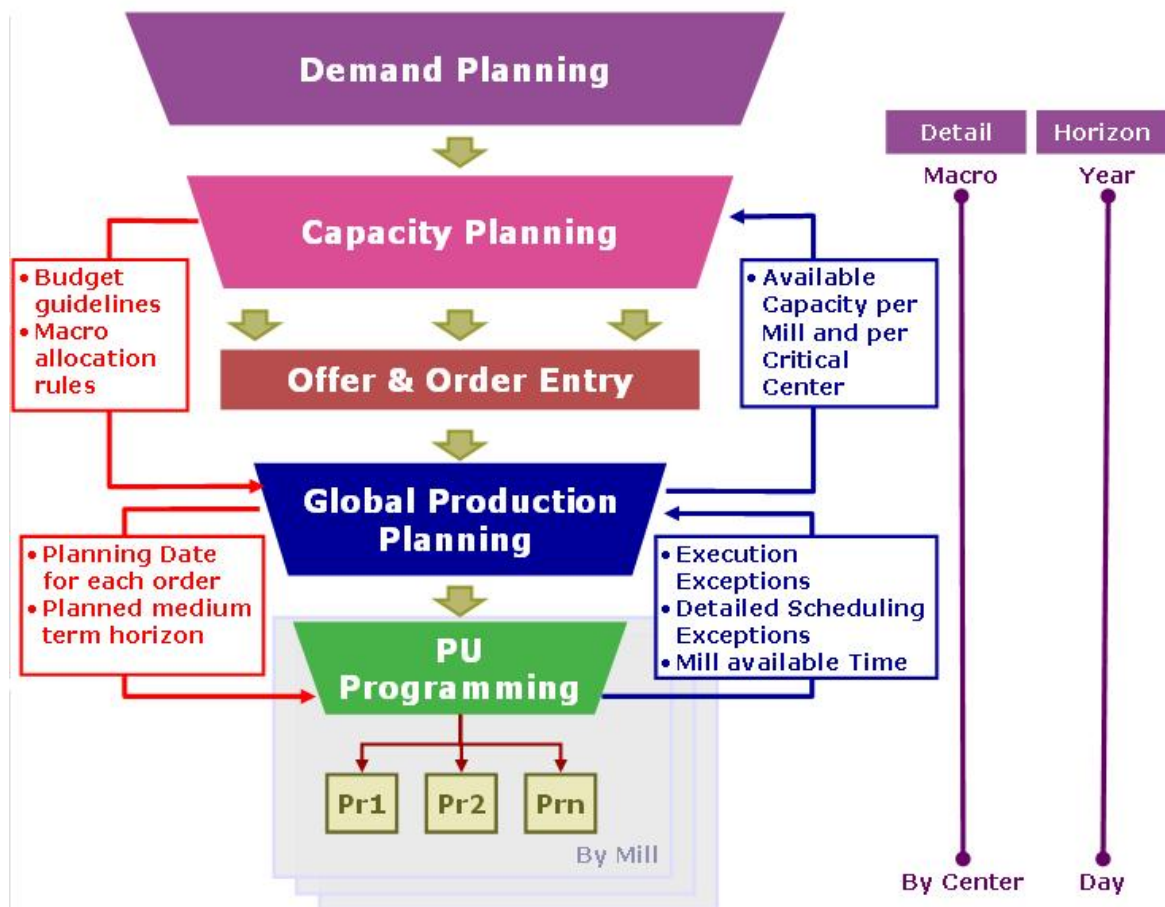


Figura 12: schema generale del processo di pianificazione

2.1.1 Pianificazione centrale

La prima fase della pianificazione è svolta dalla centrale che ha sede in Argentina. Essa alloca il carico di lavoro (quantità da produrre) ai differenti stabilimenti considerando un orizzonte temporale pari mediamente a nove mesi.

L'output di tale processo è un piano aggregato con orizzonte temporale di circa nove mesi *rolling*, i cui primi 40 giorni corrispondono a ordini effettivi, mentre i restanti 7 mesi sono pianificati sulla base di previsioni di ordine.

Le previsioni sono di due tipi principali:

- **PROGETTO**: sono previsioni che nascono in fase di accordo con un cliente e che con grande probabilità porteranno alla conferma dell'ordine finale;
- **POZZETTI**: sono quelle relative a clienti (distributori ad esempio) che storicamente ordinano quantità simili in modo ripetitivo, quindi si suppone un andamento costante nel tempo;

Per quanto riguarda le previsioni, queste non sono effettivamente prodotte fino al momento in cui non vengono confermate e tramutate in ordini.

La pianificazione centrale, così come l'accettazione locale, si avvale di uno strumento software che alloca i vari ordini sulle macchine definendo le tempistiche.

Nel piano principale, oltre al carico, vengono determinati i valori budget relativi allo stock presente nel parco barre. La pianificazione centrale, infatti, vincola le fabbriche a mantenere a scorta circa 10 giorni di produzione (es. 30.000 tonnellate di acciaio per Fabbrica Tubi Medi – FTM) che servono come polmone per l'alimentazione dei laminatoi.

2.1.2 Processo di accettazione locale

Il processo di accettazione locale, svolto dai singoli stabilimenti, riceve come input il Piano Principale aggiornato ogni mese. L'orizzonte temporale considerato per l'accettazione è di tre mesi.

In base alla capacità dei singoli stabilimenti, ai vincoli tecnici e gestionali, esso decreta se il piano è fattibile o infattibile. L'accettazione non provvede poi a dettagliare in misura maggiore tale piano, poiché questo è il compito della programmazione. Il ruolo dell'accettazione è unicamente quello di verificare la fattibilità del piano aggregato.

A questo livello la pianificazione lavora in base ai volumi ed ai colli di bottiglia. L'output è un giudizio di fattibilità del piano.

Dato il lead time di produzione della commessa, pari in alcuni casi a circa 30 giorni, l'accettazione provvede alla verifica degli ordini con circa 40 giorni di anticipo rispetto alla data di consegna attribuita al cliente. Nel caso in cui tale verifica dia esito negativo (cioè la previsione non viene confermata), l'accettazione rifiuta l'ordine e comunica a tutto il gruppo Tenaris la disponibilità di capacità produttiva liberata dei propri impianti, che possono quindi essere coperti con una nuova commessa (è compito della pianificazione centrale allocare tale commessa).

L'accettazione ha anche il compito, eventualmente anche ricorrendo a terzi, di mantenere il livello dello stock in parco barre costante, ovvero prevede volumi di acciaio da acquistare da esterno. E' importante sottolineare che l'analisi degli acciai da acquistare è fatta guardando il piano operativo futuro e confrontandolo con un piano operativo storico arretrato di 6/12 mesi per prevedere la domanda.

Solo per l'acciaieria di Donasid (Romania) si sta cercando di ordinare per conferme di vendita già individuate.

Se il lead time di produzione di 500 tonnellate di barre in acciaieria può essere di un giorno, il lead time di consegna di acciaio da Tamsa (stabilimento del gruppo sito in Messico) è di tre mesi, quindi chiaramente si deve considerare con largo anticipo l'ordine per gli altri stabilimenti del gruppo.

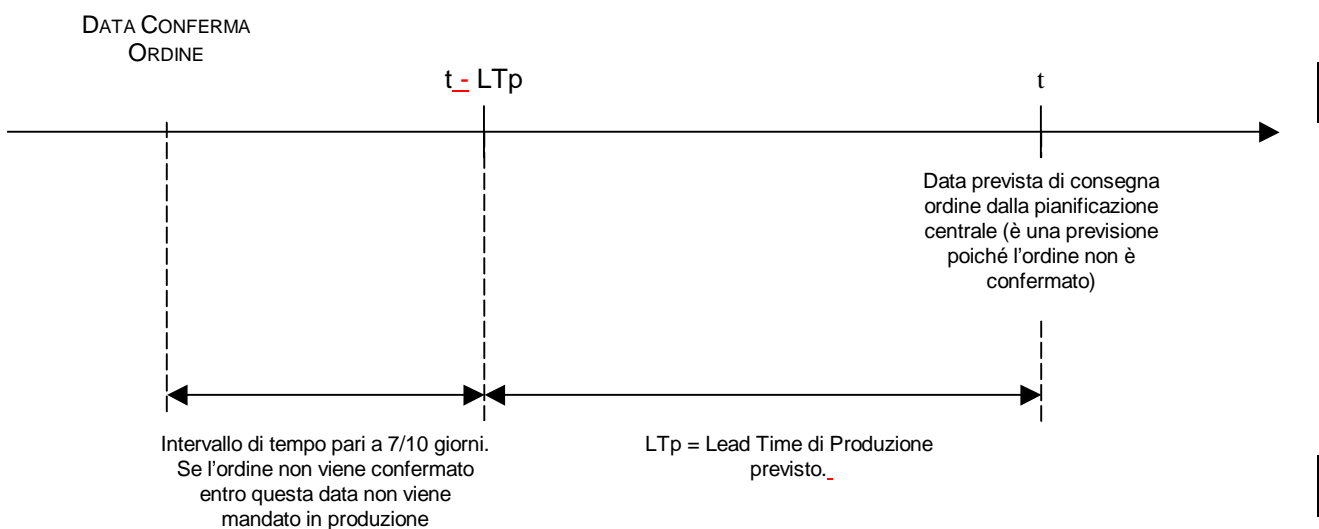


Figura 13 – Schema temporale del processo di accettazione ordini

In questa fase viene determinata la sequenza di laminazione, che verrà in seguito assunta come riferimento nella successiva fase di programmazione acciaieria.

A supporto di questa fase (e della fase successiva) interviene il sistema *Tandem*, una legacy sviluppata ad hoc per Tenaris.

Esso costituisce il controllo di avanzamento del processo. E' un sistema interfacciato con il simulatore, che tiene traccia delle lavorazioni di tutti i prodotti. L'aggiornamento è semiautomatico (automatico sulla finitura, trattamenti termici ed alcuni laminatoi, manuale invece in acciaieria).

2.1.4 Programmazione operativa di acciaieria

Obiettivo di questa funzione è definire una sequenza di produzione per l'acciaieria su un orizzonte temporale di brevissimo periodo pari mediamente a tre giorni. Tale processo, partendo dalla programmazione della laminazione, porta alla definizione delle sequenze di acciai da produrre per alimentare i laminatoi.

Le principali fasi della programmazione di acciaieria sono:

- gli ordini da laminare per la settimana successiva vengono aggregati per tipo di acciaio e ordinati seguendo, in linea di massima, la stessa sequenza fornita da laminatoio;
- si nettifica il fabbisogno di acciaio attingendo, per quanto disponibile, dal parco barre. In questa fase è fondamentale il supporto della qualità, che, in base alle specifiche tecniche, danno la disponibilità di acciai al parco barre o provvedono a riclassificare gli acciai disponibili in modo da soddisfare le richieste.
- si valutano eventuali arrivi di acciaio dall'esterno, sia dagli altri stabilimenti del gruppo che da fornitori terzi;
- il fabbisogno nettificato rappresenta la quantità di acciaio da produrre in acciaieria. In questa fase il sistema informativo *Tandem* supporta il programmatore.

La sequenza di produzione viene mantenuta pari a quella del laminatoio, che “comanda” l'intero flusso produttivo poiché ha il compito di alimentare e saturare anche gli impianti a valle (aggiustaggi, finiture, trattamenti termici,...). Occorre verificare la “copertura

acciaio”, ovvero scongiurare lo stock out del saldo operativo al laminatoio e, di conseguenza, alle macchine a valle di questo.

Sulla base dell'esperienza il programmatore cerca di modificare questa sequenza tenendo conto delle necessità dell'acciaieria, quali:

- vincoli su acciai che non possono essere prodotti consecutivamente;
- vincoli sul numero di colate: si cerca di aggregare colate simili.;
- vincoli sul numero di vuoti consecutivi.

Può capitare il caso in cui due clienti richiedano due ordini differenti di acciai simili (uno con limiti più stringenti quindi di qualità maggiore rispetto all'altro): in questo caso la pianificazione raggruppa questi ordini e richiede la produzione del solo acciaio più pregiato con cui evade anche l'ordine del cliente che richiede invece acciaio meno pregiato (non si valuta la convenienza economica di tale approccio).

La copertura acciaio può essere completamente manuale o automatica tramite il sistema informativo *Tandem*: in quest'ultimo caso non si assicura però una copertura acciaio del 100%.

Normalmente tale fase avviene automaticamente e poi ricontrollata manualmente per assicurare il 100% di copertura.

L'obiettivo è quello di garantire la sequenza più lunga possibile e fare colate piene che non generino stoccaggi a parco barre. Questo programma viene redatto separatamente per macchina 1 e per macchina 2. L'output è il programma operativo di acciaieria che ha mediamente orizzonte temporale di tre giorni, aggiornato di giorno in giorno.

Ogni mattina, la programmazione operativa registra quello che è stato fatto dall'acciaieria e valuta gli scostamenti sulla base della differenza tra quanto prodotto e quanto avrebbe dovuto produrre. Tale differenza viene poi gestita dalla programmazione operativa che provvede a integrare tale valore ricorrendo ancora al parco barre o all'esterno o, nel caso estremo, ad inviare una nuova colata in acciaieria.

Il piano sequenziato viene inviato all'acciaieria. Da questo punto la programmazione perde la visibilità del piano: è l'acciaieria che, sulla base delle decisioni prese dal capoturno, decide come sequenziare le colate sulla base di ragioni tecniche.

2.2 Vincoli e obiettivi della Programmazione di Acciaieria

La programmazione operativa o scheduling è l'ultima delle fasi di cui generalmente è composto un processo di programmazione della produzione. Lo scopo dello scheduling è arrivare a determinare la sequenza di produzione, vale a dire, stabilire le decisioni riguardo ai seguenti fattori:

- la definizione dell'ordine con cui i job dovranno essere lavorati
- gli istanti in cui dovranno avvenire le lavorazioni, così da rispettare le date di consegna
- le macchine che i job dovranno visitare

Nel caso più generale, la programmazione di breve periodo si articola secondo tre fasi che portano alla generazione di un piano di produzione dettagliato.

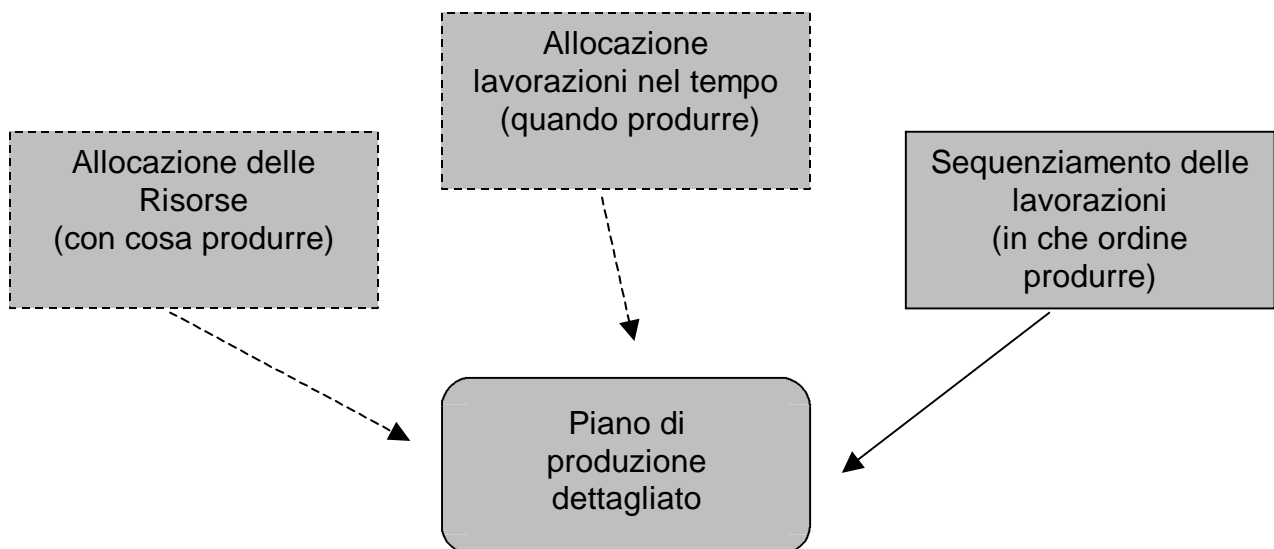


Figura 15: schema programmazione

I contorni di due step sono stati tratteggiati, poiché nel caso dell'acciaieria di Dalmine, lo scheduling si risolve con il realizzarsi del "sequenziamento delle lavorazioni". La

"*Allocazione delle risorse*" non è necessaria in quanto, trattandosi di un impianto monoprodotto e operante per processo, il sistema produttivo è rappresentabile in prima analisi come un'unica risorsa produttiva; non è quindi necessario definire le risorse oggetto della programmazione. Nel sistema di programmazione della produzione della Dalmine, la seconda fase (*Allocazione delle lavorazioni nel tempo*) viene elaborata a monte dello scheduling, a livello di pianificazione; la verifica delle date di consegna dei prodotti viene effettuata prima della generazione del piano di produzione.

Lo scheduling si conclude con la stesura del cosiddetto *programma di produzione dettagliato*; questo documento ha la finalità di tradurre in ordini operativi le decisioni prese riguardo ai seguenti fattori:

1. Loading: scelta del job da mandare in lavorazione
2. timing: scelta dell'istante in cui far entrare in lavorazione un job
3. routing: scelta della sequenza delle macchine con cui un job può essere lavorato, a fronte di più macchine in grado di fornire la stessa lavorazione
4. dispatching: scelta del job che deve essere lanciato su una macchina a fronte di più job già presenti nel sistema

Le decisioni che porteranno alla stesura del piano dettagliato, vengono prese sulla base di obiettivi da conseguire, come la saturazione delle macchine o la minimizzazione dei set up, e nel rispetto dei vincoli, quali la capacità produttiva o le date di consegna.

Il primo passo dello scheduling è quindi la definizione degli obiettivi e dei vincoli. A tale scopo si riprende in esame il processo di formazione dei blumi; in questo modo è inoltre possibile individuare i fattori critici del processo di produzione e le variabili a disposizione per governare tali criticità.

La programmazione dell'acciaieria lavora su due orizzonti temporali differenti, il primo di tipo previsionale (della durata variabile tra una settimana ed un mese), ed il secondo operativo con durata più breve (da un giorno fino a tre).

In entrambi i casi si definiscono, attraverso un'analisi del portafoglio ordini, tutte quelle colate che fanno parte del piano di produzione previsionale ed operativo in oggetto, separandole in base alla data di consegna, da quelle che temporalmente verranno allocate in un altro periodo.

Le colate destinate ad ordini di vari clienti sono vestite dei parametri tecnici identificativi del tipo di materiale e del ciclo di lavorazione che subiranno.

In particolare i parametri più importanti sono la macchina di colata cui sono destinate (CCO1 - CCO2), il tipo di acciaio, il calibro ed il montaggio.

Un numero legato alla classifica interna Dalmine identifica il tipo di acciaio e ne esprime le caratteristiche chimico - fisiche.

In base a queste si sono create regole per la suddivisione delle colate nei tundish e la compatibilità fra le stesse.

Il calibro (importante per la programmazione) rappresenta il diametro della barra che esce dalla macchina di colata continua. Questo influisce sulla dimensione finale della barra e sulla macchina che dovrà colarlo.

In base al diametro della barra si possono ottenere dimensioni differenti di tubo sia come diametro che come spessore attraverso diversi rapporti di riduzione nella fase di laminazione.

Questo facilita la programmazione dell'acciaieria consentendo di gestire pochi calibri a fronte di tutta la gamma di possibili diametri.

I calibri sono solo sette e sono suddivisi sulle macchine di colata continua nel rispetto dei vincoli tecnologici ed impiantistici.

La macchina di colata continua uno (CCO1) è destinata a colare i calibri più grandi (395, 360, 320), l'altra (CCO2) quelli più piccoli (260, 225, 180, 148).

Un parametro programmatico è l'indice di montaggio. In un programma previsionale che gestisce un orizzonte temporale abbastanza lungo risulta importante gestire più montaggi differenti dello stesso calibro.

Questo si rende necessario per migliorare il rifornimento delle aree a valle senza aumentare gli stock intermedi.

Si subisce così un aumento delle interruzioni operative, a favore di una maggiore flessibilità programmatica (il cambio calibro è una procedura che interrompe la produzione delle macchine di colata continua).

**Previsione montaggi ACC - LAM/FTMG - EXP:
gennaio 2007**

01/01/2007	gg	ACC/1			ACC/2			LAM		
		1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a
<i>lun</i>	<i>01</i>									
<i>mar</i>	<i>02</i>	320	320	320	225	225	225	372	372	372
<i>mer</i>	<i>03</i>	320	320	320	225	148	148	372	372	372
<i>gio</i>	<i>04</i>	360	360	360	148	148	148	292	292	292
<i>ven</i>	<i>05</i>	360	360	360	148	148	148	292	292	292
<i>sab</i>	<i>06</i>	360	360	360	148	148	148	292	190	190
<i>dom</i>	<i>07</i>	360	360	360	148	148	148			
<i>lun</i>	<i>08</i>	360	360	360	148	148	148	427	427	427
<i>mar</i>	<i>09</i>	360	360	360	148	148/260	260	427	372	372
<i>mer</i>	<i>10</i>	360	360	360	260	260	260	372	372	372
<i>gio</i>	<i>11</i>	360	360	360	260	260	260	372	373	373
<i>ven</i>	<i>12</i>	360	360	360	260	260	148	373	373	236
<i>sab</i>	<i>13</i>	360/320	320	320	148	148	148	236	236	236
<i>dom</i>	<i>14</i>	320	320	320	148	148	148	236-238	372	372
<i>lun</i>	<i>15</i>	320	320	320	148	148	148	372	372	372
<i>mar</i>	<i>16</i>	320	320	320	148	148	148	372	372-345	345
<i>mer</i>	<i>17</i>			395		260	260	345	345	345
<i>gio</i>	<i>18</i>	395	395	395	260	260	260	345	292	292
<i>ven</i>	<i>19</i>	360	360	360	260	180	180	292	292-236	236
<i>sab</i>	<i>20</i>	360	360	360	180	180	180	236	236	236
<i>dom</i>	<i>21</i>	360	360	360	180/148	148	148			
<i>lun</i>	<i>22</i>	360	360	360	148	148	148	426	426/427	427
<i>mar</i>	<i>23</i>	360	360	360	148	148	148	427	427	427
<i>mer</i>	<i>24</i>	360	360	360	148	148	148	427	373	372
<i>gio</i>	<i>25</i>	360	360	360	148/225	225	225	372	372	372
<i>ven</i>	<i>26</i>	360	360	360	225	225	225	372	372	372
<i>sab</i>	<i>27</i>	360	360	360/320	225	225	225	190	190	190
<i>dom</i>	<i>28</i>	320	320	320	225/148	148	148			
<i>lun</i>	<i>29</i>	320	320	320	148	148	148	372	372	372
<i>mar</i>	<i>30</i>	320	320	320	148	148	148	372	372	372
<i>mer</i>	<i>31</i>	360	360	360	260	260	260	292	292	292
<i>gio</i>	<i>01</i>	360	360	360	260	260	260	292	345	345

Figura 16: programma montaggi

I parametri tecnici sopra elencati unitamente alla matrice degli acciai affini ed ai vincoli impiantistici ci consentono di definire le regole mediante le quali si crea un tundish, ossia un gruppo di colate che possono essere eseguite in sequenza senza dover effettuare alcun cambio (cambiare il tundish significa interrompere il processo di colaggio e sostituirlo).

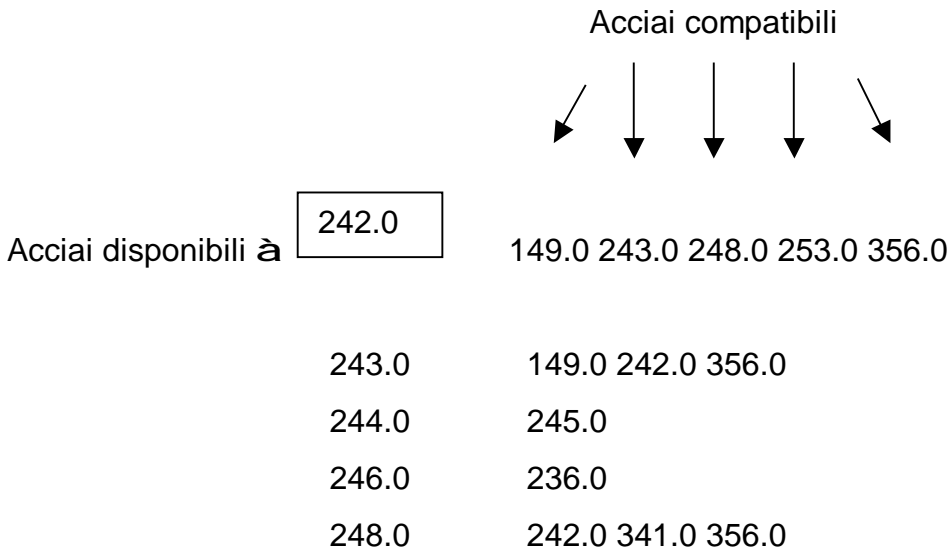


Figura 17: tabella acciai affini

La matrice di affinità fra le colate, formata da tante righe quanti sono gli acciai Dalmine, contiene nella prima colonna l'acciaio di riferimento e sulle colonne a fianco quelli che chimicamente sono compatibili con questo e ne consentono un intermix senza scarto.

I criteri che derivano direttamente da vincoli tecnologici ed impiantistici dall'acciaieria sono ad esempio il numero massimo di colate per tundish che impone il cambio al massimo dopo dieci colate per la rigenerazione dei materiali refrattari piuttosto che il numero massimo di vuoti da eseguire in sequenza sia che essi si considerino veloci (durata ridotta) o spinti (durata più lunga).

2.2.1 La catena FORNO-LF-CC

Le fasi caratteristiche di tale produzione sono rappresentate dal seguente diagramma:

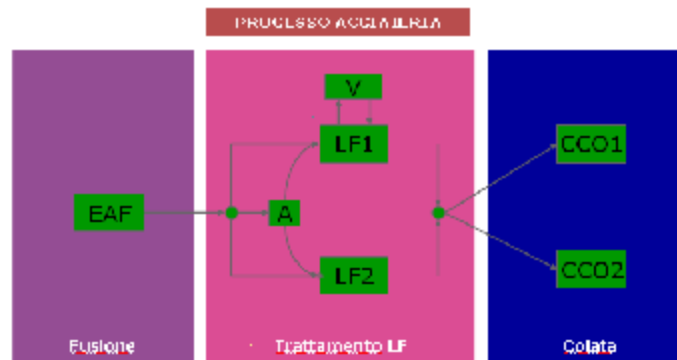


Figura 18: fasi del processo di produzione

Fusione:

- Il forno fusorio è la macchina principale dell'acciaieria in quanto ad esso sono associati i costi operativi e di manutenzione maggiori. Dato il piano di produzione da eseguire, il funzionamento di tutto l'impianto è ottimale se prevede la massima saturazione di questa risorsa; ogni fermata, o rallentamento del ritmo produttivo, imputabile ad una cattiva programmazione si traduce in costi di mancata produzione.
- Il tempo di processo della fase di fusione non dipende dalla colata in esame. Esso dipende esclusivamente dall'orario in cui viene eseguito.
- Il forno fusorio alimenta le due macchine di colata CCO1 e CCO2. Il fatto che da una macchina vengano realizzate le "parti" lavorate da due macchine a valle introduce la problematica del loading della macchina a monte.

Trattamento in LF:

- Da un punto di vista impiantistico, i due LF sono identici: le lavorazioni possono essere svolte indifferentemente sull'uno piuttosto che sull'altro. Questa simmetria impiantistica permette la possibilità di eseguire routing alternativi.
- La scelta di svolgere i trattamenti su un LF piuttosto che sull'altro (scelta del routing) non comporta però le stesse performance; si determinano così routine ottimali e non ottimali. La preferibilità di un routing rispetto ad un altro risiede in due fattori: l'utilizzo della postazione di attesa in uscita dal forno fusorio e l'ubicazione della postazione del vuoto, nascosta dall'LF1.
- La sosta consente di disaccoppiare il funzionamento del forno principale da quello degli LF, così che il forno possa lavorare anche se i due LF sono occupati. Inoltre, se l'LF in cui si vorrebbe trattare la siviera fosse occupato, permette di attendere fino a che non si è liberata la risorsa.
- Poiché la sosta non dispone di un sistema sufficientemente potente di riscaldamento che consenta all'acciaio di mantenersi in temperatura, l'utilizzo dell'attesa è limitato a 20-30 minuti. Superato tale limite, la temperatura dell'acciaio si abbassa fino a raggiungere la soglia critica per il proseguimento delle lavorazioni.
- Un altro fattore di cui occorre tenere conto è che impiegare questa postazione implica un maggiore numero di movimentazioni della siviera; in questo modo l'acciaio, rimanendo più a lungo a contatto con l'aria, è maggiormente esposto al fenomeno dell'ossidazione.
- Per quest'ultimo motivo, si preferiscono routing che non prevedano l'impiego della sosta.

- La criticità della macchina del vuoto risiede nel suo posizionamento: per accedervi occorre che l'LF1 sia libero. Gli elementi di confronto fra le diverse procedure sono: la modalità con cui i diversi routing raggiungono la condizione di accesso al vuoto e l'impatto che la scelta dell'LF ha sugli obiettivi della programmazione.

Colaggio:

- La colata dell'acciaio non avviene direttamente dalla siviera ai canali di cristallizzazione, ma si passa attraverso l'impiego dei tundish (o panierie): le siviere, posizionate al di sopra dei tundish, travasano in maniera progressiva l'acciaio nella panieria. La siviera si svuota mentre il tundish riversa il suo contenuto nei canali di colata. Il passaggio di materiale procede fino all'esaurimento dell'acciaio contenuto nella siviera; a quel punto si procede alla sua sostituzione, mentre il tundish procede ad alimentare la colata. Poiché una parte dell'acciaio contenuto dalla panieria rimane esposta all'aria, per evitarne l'ossidazione, viene disposto sulla superficie del metallo liquido uno strato di "scoria" in grado di eliminare il contatto con l'atmosfera.
- Nel momento in cui si esaurisce la siviera che sta alimentando la panieria, il livello di acciaio all'interno del tundish si abbassa progressivamente. In questa discesa è coinvolta anche la scoria che, se dovesse arrivare ai fori del tundish, ne ostruirebbe il passaggio bloccando il processo. Prima che il livello di acciaio arrivi alla quota critica, devono trascorrere in media 20 minuti da quando la siviera si è esaurita.
- In questo modo si ha a disposizione una finestra temporale nella quale un'altra siviera, di acciaio compatibile a quello in fase di solidificazione, può sostituire quella che si è appena svuotata.
- Se non si riesce a garantire l'arrivo della siviera si procede alla chiusura dei fori del tundish e alla conseguente sostituzione della panieria. Questa operazione

comporta la divisione del tundish originario in due secondari: del primo faranno parte le colate schedulate, mentre il secondo sarà composto dalle rimanenti.

- La criticità dell'operazione di colaggio è data dalla realizzazione del sincronismo tra le siviere di uno stesso tundish, così da ottenere la continuità del processo (detto "continuo-continuo" o più semplicemente "C-C"). Il processo risulta ulteriormente caratterizzato dai seguenti fattori:
- Le colate sono lavorate con continuità in tutte le postazioni, in modo particolare nel forno principale, nella postazione del vuoto e nelle macchine di colata. Non è possibile arrestare la lavorazione di una siviera su un LF per riprenderla in un secondo momento; in pratica non è ammessa *preemption*. Un caso a parte è rappresentato dalla sequenza detta "Tre vuoti veloci".
- Il passing, o sorpasso, è consentito tra colate destinate a macchine di colata differenti mentre non lo è per colate appartenenti alla stessa macchina (se così non fosse si cambierebbe la sequenza di acciai nel tundish).

2.2.2 Analisi dei tempi macchina

Procedendo nell'esame del sistema produttivo, si è interessati alla verifica dell'esistenza del cosiddetto "problema dei collo di bottiglia". L'obiettivo dell'analisi è l'individuazione della fase che, attraverso la propria capacità produttiva, influenza più delle altre l'ottenimento degli obiettivi della programmazione.

In un processo come quello in esame, caratterizzato da più stadi, i reparti a monte forniscono l'input per le lavorazioni eseguite da quelli a valle; ne segue che la presenza di uno stadio avente capacità produttiva inferiore di quella caratteristica dei reparti contigui genera delle problematiche gestionali dei flussi di lavorati. Infatti, a monte del reparto critico si avrebbe l'accumulo di materiale pronto per la successiva lavorazione, mentre a valle si avrebbe il problema inverso.

Per evidenziare l'esistenza del collo di bottiglia, si analizzano le tre fasi del processo di produzione dei blumi considerando il tempo di lavorazione di ciascuna fase, espresso in minuti.

Risorsa	Tempo lavorazione Min	Tempo lavorazione Max	Tempi medi lavorazione
Forno fusorio	45	50	45/50
LF	55	120	55 + Δ
CCO	45	80	65/80

Tempi di lavorazione

L'ultima colonna della tabella esprime i tempi con cui tipicamente viene svolta ciascuna fase. Per il forno fusorio e le macchine di colata sono stati indicati due tempi per tenere conto rispettivamente della "riduzione di potenza" e delle velocità di colaggio delle due CCO. Per l'LF il discorso è un po' complesso: dai dati medi si potrebbe pensare che il reparto critico sia quello legato alla colata. In realtà il collo di bottiglia si realizza sugli LF. Questo accade perché il secondo reparto deve alimentare due macchine di colata, come il forno fusorio, ma rispetto a quest'ultimo ha tempi di trattamento maggiori e fortemente variabili (per effetto della sincronizzazione delle siviere). Le macchine di colata, sebbene presentino i tempi di trattamento maggiori, operano separatamente e sfruttano il fatto che non tutte le spillate trattate dai reparti precedenti siano destinate ad una sola CCO.

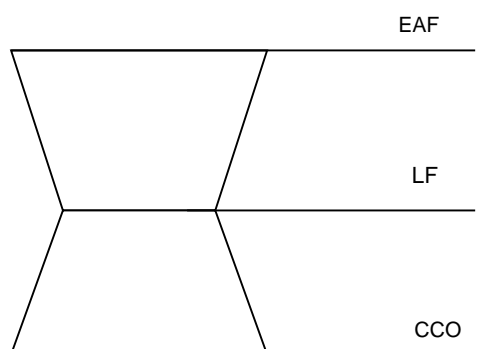


Figura 19: collo di bottiglia LF

L'esistenza di routing ottimali è accentuata dall'aspetto appena evidenziato: la scelta dell'LF deve essere tale da minimizzare l'impegno della risorsa critica.

2.2.2 Criteri e modalità di programmare l'acciaieria

Riassumendo quanto illustrato nei paragrafi precedenti, i parametri tecnici di riferimento per i programmatori sono:

- diametri macchina di colata continua 1 (CCO1): 280, 320, 360, 395 (mm)
- diametri macchina di colata continua 2 (CCO2): 145, 200, 240, 280 (mm)
- produttività media del forno: 140 tonn/h
- peso medio di una colata: 95 tonn
- numero di colate giorno: 30 (generalmente 18 su CCO1 e 12 su CCO2)

L'obiettivo principale da parte dell'acciaieria relativamente a questi parametri è mantenere la produttività delle due macchine di colata pari a quella del forno.

Per ottenere questo tipo di analisi è necessario utilizzare altri parametri tecnici quali:

- velocità di colaggio (Casting speed)
- peso metrico (Metric Weight) del tipo di acciaio all'interno della colata
- portata massica all'interno delle lingottiere (steel flow)

Si considera inoltre che ciascuna macchina di colata utilizzi tutte e quattro le linee di colata ed i seguenti tempi di set-up all'interno dello stesso calibro per cambio tipo acciaio:

CCO1:

- 60- 80 min per ripristino
- 20-30 min per fly tundish
- 0 min per intermix

CCO2

- 45-60 min per ripristino
- 0 min per intermix

Per quanto riguarda i tempi di durata su LF1 e LF2, la programmazione considera 60 min per drogaggi standard e 150 min per vuoti spinti (Vacuum Degassed Spinto VDS), sulla base di questi valori si ritiene come limite max 2 vuoti spinti in totale per le 2 macchine per turno.

La tabella riassuntiva di 16, rappresenta il valore dei parametri tecnici e dell'indice di sequenza in funzione del calibro.

Billet size mm	Vc* Castin g speed min-max m/min	Q steel flow/strand Kg/min	PM Metric weight Kg/m	n° linee	Ton/h	Colate per ora Col/h	Indice seq bdg	Minuti Fermo (fly+fb) Min	Incidenza fermo per colata min/col	Incidenza fermo per ora min/h	Ton. effettive tonn/h
145	2,50	320	128	4	74,88	0,79	2,3	45	19,29	15,20	55,91
200	1,10	275	250	4	64,35	0,68	2,1	45	21,18	14,34	48,97
240	1,00	354	354	4	82,84	0,87	2,0	45	22,50	19,62	55,75
280CC 2	0,78	371	475	4	86,70	0,91	2,5	45	17,91	16,35	63,08
280CC 1	0,80	380	475	4	90,06	0,95	3,55	30	8,45	8,01	78,04
320	0,60	374	623	4	88,59	0,93	3,1	30	9,71	9,05	75,23
360	0,50	406	811	4	96,10	1,01	3,2	30	9,40	9,51	80,87
395	0,40	378	944	4	89,49	0,94	4,2	30	7,14	6,73	79,46

Figura 20 - valori tecnici per calibro (indipendentemente dal tipo di acciaio)

Sulla base dei programmi operativi preparati è quindi possibile calcolare l'indice di sequenza; sulla base di tale indice ed in funzione dei calibri contemporaneamente in funzione è possibile calcolare la somma delle tonnellate effettive che sono lavorate contemporaneamente sulle 2 macchine, tale valore deve avvicinarsi a 140 tonn/h;

naturalmente più basso è l'indice di sequenza (numero di colate per ogni sequenza) e maggiori risultano i cambi tundish e aumenta l'incidenza fermo per ora.

I valori di limite inferiore di indice i sequenza di cui tenere conto all'interno di un programma sono 2 per CCO2 e 3 per CCO1; va inoltre considerato che fare un vuoto spinto equivale a effettuare un cambio tundish.

Altre considerazioni di cui tenere conto per la programmazione dell'acciaio sono:

- tendenzialmente non partire mai ad inizio calibro con acciai risolforati come 623 e 624 ma preferibilmente con i vuoti (non è comunque una regola tassativa)
- minimo tempo di durata di un calibro è di 3 turni
- per rimontare un calibro è necessario aspettare almeno 3 giorni
- il numero massimo di colate che si possono fare con uno stesso tundish è 8 per CCO1 e 5 per CCO2
- la durata del cambio calibro è di circa 90 min
- a fine settimana è necessario svuotare il forno, è quindi opportuno finire con acciai definiti "facili" come lo 0.40 o lo 0.50 per la presenza di possibili inquinamenti di scoria

2.2.3 Laminatoio e Acciaieria: programmazioni differenti

Un parametro fondamentale è la distanza temporale tra delle attività produttive in laminazione e acciaieria o, in altre parole, il tempo intercorrente tra il momento in cui la barra è disponibile in acciaieria e il momento in cui deve essere lavorata in laminatoio.

La barre prodotte, prima di essere laminate, devono attendere almeno 24 ore per il raffreddamento. Se le due fabbriche sono "temporalmente distanti" allora l'acciaieria può essere libera di gestire i propri impianti; il problema è che le due fabbriche lavorano in parallelo (alcune commesse si accavallano); ciò comporta criticità nella sequenziazione dei job. L'aspetto fondamentale che deve essere considerato è il seguente:

- il parametro determinante nella maggior parte del ciclo produttivo è il calibro (diametro), mentre la tipologia di acciaio riveste un'importanza minore;
- il parametro determinante in acciaieria è proprio la tipologia di acciaio.

Ciò comporta forti discordanze in termini di priorità tra l'acciaieria ed il resto del ciclo produttivo.

3 CONCLUSIONI

Si è tentato di illustrare gli step della programmazione dell'acciaiera, dall'orizzonte temporale più lontano (i 9 mesi della pianificazione centrale) fino alla sequenza dei job fusi e colati.

Non si è esplicitamente fatto riferimento agli strumenti a supporto dell'ultima fase di scheduling, ad oggi quasi totalmente costituiti dal bagaglio di esperienza degli operativi di fabbrica.

E' stato creato in passato un tool chiamato "Iron" in collaborazione con il Politecnico ed è in atto uno studio finalizzato a creare uno strumento utile a risolvere il problema della sequenza operativa.

L'ottenimento della sequenza a minor numero di tundish, infatti, permette di raggiungere un obiettivo importante dal punto di vista economico, il contenimento dei costi legati all'utilizzo dei tundish stessi per il programma.

Il ripristino dei materiali refrattari che bisogna attuare ad ogni cambio tundish impone dei costi ($\cong 1.500$ € a tundish) e quindi limitare il numero di tundish utilizzati significa una gestione della programmazione attenta ai risvolti economici e alla riduzione dei costi, nell'ottica di una maggior competitività sul mercato.

Questo rientra in quei problemi di Ottimizzazione per cui si vuole trovare la configurazione che minimizza il valore di un opportuno funzionale nel rispetto di alcuni vincoli.

In particolare esso ricade fra quei problemi di tipo combinatorio noti come "Travel Saleman Problem" (TSP) o, secondo la dizione italiana, "Problema del commesso viaggiatore". Il nome deriva dalle applicazioni di Ricerca Operativa che cercano di ridurre una funzione di costo legata alla lunghezza del percorso di un commesso viaggiatore attraverso un dato insieme di località; elaborando la sequenza delle destinazioni possibili da attraversare si vuole determinare il percorso più breve, cui corrisponde il minimo della funzione di costo relativa.

Nel caso studiato, la funzione da minimizzare è il numero di tundish, mentre lo spazio delle soluzioni ammissibili è dato dall'insieme di tutte le permutazioni possibili delle colate con stesso calibro e montaggio fornite in ingresso al sistema. Il compito della procedura di Ottimizzazione è trovare la sequenza ottima delle colate esplorando il maggior numero di

soluzioni possibili, nel rispetto dei vincoli di carattere fisico e delle regole per la gestione dell'acciaieria esposte.

Una condizione necessaria per la bontà complessiva della procedura è il raggiungimento dell'ottimo in un tempo ragionevolmente breve.

Per la risoluzione di questi tipi di problemi di ottimizzazione esistono infatti diversi approcci, tra cui ad esempio quello delle tecniche enumerative, in cui si esplora tutto lo spazio delle soluzioni ammissibili: l'ottimo globale viene raggiunto con certezza dal confronto fra tutte le soluzioni possibili. La certezza del raggiungimento dell'ottimo però viene pagata con la quantità di tempo impiegata dalla ricerca: esso dipende dall'ampiezza dello spazio delle soluzioni ammissibili, che aumenta in modo esponenziale con l'aumentare del numero di colate da analizzare.

Un approccio di questo genere è quindi giustificato solo se il problema è relativamente "piccolo", cioè non contiene più di una ventina di elementi: ad esempio per analizzare la sequenza di otto colate si dovrebbe esplorare uno spazio delle soluzioni pari a $8!$ elementi, cioè 40320 possibili combinazioni.

Nella realtà questi approcci sono inapplicabili: si fa riferimento infatti a gruppi di colate con stesso calibro e montaggio costituiti mediamente da 100 acciai, fino ad arrivare ad un massimo di 150: il calcolo sul caso peggiore (150 colate) porta ad avere circa $5.71e+262$ soluzioni possibili.

Emerge quindi il bisogno di ricorrere a tecniche che garantiscano il raggiungimento dell'ottimo in un tempo di risoluzione contenuto.

Per risolvere questo problema si in considerazione gli algoritmi "euristici", differenti dagli approcci delle altre tecniche di ottimizzazione: questi garantiscono una buona soluzione, prossima o in un intorno dell'ottimo, ottenibile in breve tempo.

BIBLIOGRAFIA

- Brandolese, Pozzetti, Sianesi: Gestione della Produzione Industriale: principi, metodologie, applicazioni e misure di prestazione (Hoepli)
- Pozzetti: Tecnologie Industriali (Cusl)
- Caron, Wegner: Studio di fattibilità Layout e Simulazione (Cusl)
- Caron: Gestione dei Progetti d'Impianto
- Garetti, Taish: Sistemi di Produzione Automatizzati (Cusl)
- Tesi "Realizzazione di un sistema automatico per la programmazione dell'acciaiera Dalmine", Politecnico di Milano, Elefante-Patelli
- Procedure Tenaris Dalmine

SOMMARIO

Steelmaster 2006	1
INTRODUZIONE	2
1 L'ACCIAIERIA: PRODOTTI E PROCESSI	4
1.2 Il prodotto	5
1.2.1 Settori di impiego	6
1.2.2 Classificazione degli acciai	6
1.3 Processo produttivo	8
1.3.1 Materie prime	8
1.3.2 Preparazione del fuso nel forno ad arco	10
1.3.3 Elaborazione dell'acciaio fuori forno	17
1.3.4 Colaggio dell'acciaio	21
1.3.5 Solidificazione in colata continua	23
1.3.6 Principali fattori produttivi	27
2 LA PROGRAMMAZIONE DELL'ACCIAIERIA	29
2.1 Il processo di Pianificazione	29
2.1.1 Pianificazione centrale	30
2.1.2 Processo di accettazione locale	30
2.1.3 Programmazione operativa laminatoi	32
2.1.4 Programmazione operativa di acciaieria	33
2.2 Vincoli e obiettivi della Programmazione di Acciaieria	35
2.2.1 La catena FORNO-LF-CC	41
2.2.2 Criteri e modalità di programmare l'acciaieria	46
2.2.3 Laminatoio e Acciaieria: programmazioni differenti	48
3 CONCLUSIONI	49
BIBLIOGRAFIA	51