

## **1.2. L'ECONOMIA DI UN PROCESSO CHIMICO E L'INFLUENZA DEI PARAMETRI DI PROCESSO, DELLE MATERIE PRIME ED ENERGIA SUI COSTI DI PRODUZIONE**

Conferenza tenuta agli allievi della V Classe di chimica industriale dell'Istituto Cobianchi il 18 febbraio 1989 e pubblicata su "Il Cobianchi" Verbania, 1989 pp. 24-39 (\*)

### **INTRODUZIONE**

L'economia di un processo chimico costituisce un aspetto importante dell'impianto che lo realizza, e ne decide molto sovente la sua nascita, sopravvivenza e chiusura. Poiché un processo chimico è generale destinato alla produzione di qualche materiale, la sua economia è ben rappresentata dal cosiddetto "costo di produzione" del materiale. Questo costo di produzione è influenzato da molti fattori costituiti in generale da altri costi (materie prime, energia, ecc.) e dai parametri di processo. L'operatore dell'impianto è così chiamato condurre delle scelte in termini di materie prime, energia, parametri di funzionamento, ecc. che devono permettere all'impianto di lavorare in condizioni economiche ottimali. Queste condizioni sono espresse in generale dal valore minimo possibile del costo di produzione nelle condizioni di operazione dell'impianto.

### **ECONOMIA DI UN PROCESSO CHIMICO**

Per ben comprendere le basi economiche di un processo chimico è bene rifarsi a uno schema generale, riportato nella Fig. 1, che riporta i fattori principali che determinano i costi di produzione, e che sono descritti in dettaglio nei paragrafi seguenti.

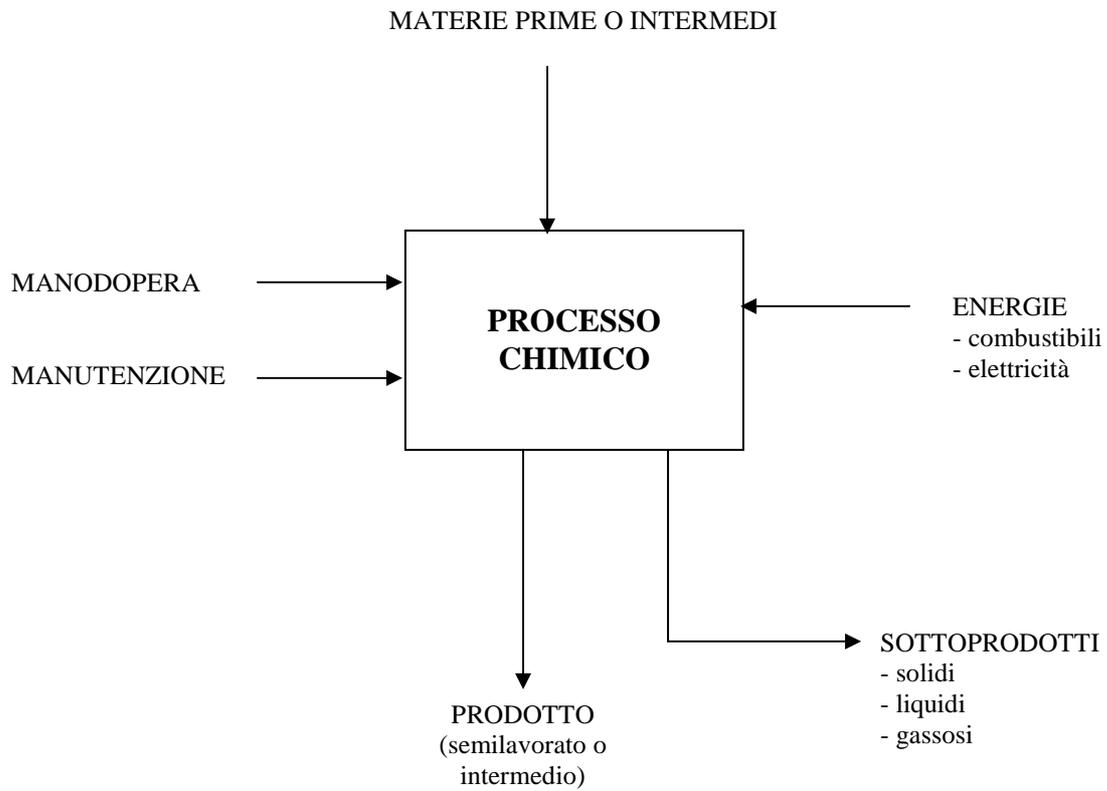
#### **Materie prime**

Le materie prime rappresentano i prodotti necessari per l'alimentazione dell'impianto. Esse possono essere più o meno numerose a seconda del tipo di processo e possono essere acquistate all'esterno dell'impianto o fornite come intermedi di un altro impianto esistente nello stabilimento. Accanto alle materie prime vere e proprie, direttamente collegate alla produzione dell'impianto, esistono in genere delle materie o intermedi accessori che sono però indispensabili per il funzionamento del processo. Ad esempio in un'acciaieria elettrica il rottame di ferro costituisce la materia prima principale mentre gli elettrodi di grafite costituiscono un esempio di materia accessoria. Sia le materie prime che i prodotti accessori presentano un consumo e quindi un costo proporzionale al livello di produzione dell'impianto.

#### **Energia**

Tutti gli impianti presentano un certo consumo di energia. Anche nel caso di processi fortemente esotermici esiste sempre un certo consumo di energia, generalmente elettrica, necessaria per il funzionamento di parti ausiliari dell'impianto e dei sistemi di controllo. In qualche caso gli impianti che realizzano processi esotermici possono avere dei sistemi di recupero dell'energia e in alcuni casi, peraltro abbastanza limitati, l'energia recuperata può essere superiore a quella consumata. Notiamo infine che gli impianti che realizzano processi fortemente endotermici sono spesso dotati

(\*) Nell'articolo originale vi è riprodotta una lunga serie di tabelle e figure che mostrano nel dettaglio il modello e i risultati dello studio parametrico condotto che non è stata ritenuta di interesse primario per introdurla in questa pubblicazione, da cui alcune leggere ristrutturazioni effettuate in questo testo a seguito di questa variazione.



*Investimento = Costo dell'impianto*

**Fig. 1. Schema generale di un processo chimico e dei fattori che influenzano la sua economia**

di recuperatori di energia che necessariamente è fornita in eccesso per assicurare il funzionamento del processo. In questo caso il recupero ha naturalmente la funzione di ridurre il consumo di energia del processo. L'energia può essere fornita al processo in differenti forme come energia elettrica, in pratica sempre presente in misura più o meno importante, o come energia da combustibile che in questo caso può essere sotto forma di:

- combustibile gassoso come il metano.
- combustibile liquido come l'olio combustibile
- combustibile solido come il carbone o il coke.

Il consumo di energia e quindi il suo costo è, come per le materie prime, in generale proporzionale al livello di produzione dell'impianto.

### **Manodopera**

Il funzionamento di un impianto richiede la presenza di personale. Nonostante che gli automatismi di operazione e controllo divengano sempre più sofisticati riducendo il bisogno di personale, l'elemento umano resta sempre indispensabile a tutti i livelli (operai, tecnici, dirigenti) per un buon funzionamento dell'impianto. Esso infatti apporta il cosiddetto "saper fare" (know how), indispensabile per operare l'impianto in condizioni ottimali (*N.d.A. aspetto pratico del know how*). Per un dato impianto con una ben stabilita capacità produttiva i bisogni di personale sono ben definiti. Ne consegue che i costi di manodopera non variano praticamente al variare del livello produttivo.

### **Manutenzione**

Tutti gli impianti possono presentare problemi che necessitano interventi di manutenzione per riassicurarne la funzionalità. La manutenzione può essere ordinaria (programmata) o straordinaria a seguito di un malfunzionamento dell'impianto. Un buon programma di manutenzione ordinaria può evitare in larga misura gli interventi straordinari che sono in genere molto costosi. I costi di manutenzione sono rappresentati dalla manodopera (se questa non è stata già considerata con il resto del personale) e da materiali (sostituzioni, riparazioni, ecc.). I costi di manutenzione sono difficilmente correlabili con il livello produttivo dell'impianto. Essi sono in genere messi in relazione con il costo dell'impianto (investimento) e possono assumere valori dell'ordine di qualche per cento dell'investimento e in alcuni casi arrivare fino al 5 %.

### **Prodotto**

Il prodotto rappresenta il materiale principale che si vuole ottenere dal processo. Esso può essere un prodotto destinato direttamente alla vendita o un intermedio usato in altre parti dello stabilimento. In realtà un processo genera molto spesso anche altri prodotti che sono chiamati sottoprodotti. In alcuni casi esiste più di un prodotto che si può definire principale. Un caso ben conosciuto è quello della produzione elettrolitica del cloro e della soda, ma ne esistono anche altri in campo petrolifero e nella separazione delle terre rare. Questi casi "multiprodotti" sono in genere difficili da gestire sul piano economico e di mercato e per semplicità non ce ne occuperemo. La vendita del prodotto principale del processo costituisce il ricavo dell'operazione e deve compensare gli altri costi per rendere economico il processo. I ricavi sono naturalmente proporzionali al livello di produzione dell'impianto.

### **Sottoprodotti**

I prodotti del processo che accompagnano il prodotto principale sono chiamati sottoprodotti. Nonostante che in alcuni casi si chiamino sottoprodotti solamente i prodotti secondari che sono in qualche modo valorizzabili, è bene considerare l'insieme dei prodotti generati poiché alcuni dei

sottoprodotti possono condurre a dei costi aggiuntivi di eliminazione per evitare problemi di inquinamento. I sottoprodotti possono presentarsi in più fasi:

- gas (fumi, emissioni varie, ecc.)
- liquidi (solventi residui, soluzioni, acque di lavaggio, ecc.)
- solidi (residui, depositi, precipitati, ecc.)

I sottoprodotti valorizzabili possono influire sull'economia del processo in due modi:

- attraverso un ricavo aggiuntivo per la loro vendita.
- attraverso una riduzione dei consumi in materie prime e quindi dei costi se esiste la possibilità di riciclo del sottoprodotto.

Il secondo caso è tipico ad esempio per l'acciaieria elettrica dove del rottame è generato come sottoprodotto dalle operazioni di colata e laminazione dell'acciaio, ed è riciclato al forno fusorio riducendo così la quantità di rottame da acquistare. La valorizzazione dei sottoprodotti è naturalmente proporzionale al livello di produzione dell'impianto.

### **Costi di capitale**

Accanto ai costi diretti (energia, materie prime, manodopera, manutenzione, ecc.) che costituiscono in cosiddetto costo operativo, esistono costi aggiuntivi di natura finanziaria e in relazione con gli investimenti fatti per realizzare l'impianto. Il loro calcolo è piuttosto complesso e per semplicità possono essere considerati di tre tipi:

### **Ammortamenti**

Si tratta di somme accantonate in linea di principio per una futura sostituzione dell'impianto. In realtà non è detto che l'impianto venga sostituito una volta che la somma accantonata arrivi al valore della somma investita. Infatti esigenze tecniche o economiche possono decidere di un arresto prematuro o una prosecuzione ulteriore della vita dell'impianto. Le somme accantonate costituiscono in realtà delle riserve per futuri investimenti la cui politica di gestione può essere alquanto complessa ma molto importante per la vita dell'impresa. Poiché gli ammortamenti sono dedotti dagli attivi e riducono la carica fiscale dell'esercizio economico, la legislazione fissa in genere dei valori massimi che possono essere ammortizzati in termini di percentuale degli investimenti e in funzione del tipo di investimento.

### **Interessi**

Molto sovente gli investimenti necessari per la costruzione dell'impianto necessitano l'intervento di prestiti bancari per la loro completa copertura. Questi prestiti sono dati con un tasso di interesse stabilito ed il cui pagamento grava sul costo d'esercizio dell'impianto. Il tasso di interesse è molto variabile secondo la durata del prestito, la moneta usata per il prestito, il costo del denaro sui mercati finanziari e le garanzie politiche ed economiche eventualmente esistenti.

### **Restituzione prestiti**

Spesso la concessione di un prestito comporta anche un piano di restituzione delle somme date che si traduce in pagamenti di ratei periodici che in generale comprendono anche il valore degli interessi. Il valore dei ratei è in generale funzione dell'entità del prestito, della sua durata e del tasso di interesse fissato. Gli ammortamenti e la restituzione dei prestiti con interesse costituiscono il costo del capitale e grava sull'esercizio dell'impianto indipendentemente dal livello di produzione realizzato. Questo costo di capitale aggiunto al costo operativo ci dà il costo di produzione dell'impianto. La tendenza attuale verso una sofisticazione e automatismo spinto degli impianti grava sugli investimenti e quindi i costi di capitale diventano sempre più elevati. Questo aumento è

in genere compensato da riduzioni dei costi di manodopera, manutenzione e in parte di materie prime ed energia per le migliori condizioni di funzionamento dell'impianto.

### **Conto economico di un impianto**

Abbiamo riportato nei paragrafi precedenti una descrizione dei fattori economici principali che influenzano l'economia di un impianto e passiamo ora a presentare un conto economico rifacendoci alla Fig.2. che riporta uno schema semplificato e simbolico di un conto economico tipico di un impianto. Abbiamo quindi un costo variabile  $V$  definito come:

$$V = M + E \quad (1)$$

dove  $M$  rappresenta il costo delle materie prime ed  $E$  il costo delle energie. Esistono poi dei costi di manodopera  $L$  e di manutenzione  $T$  che sommati al costo variabile  $V$  ci danno il costo operativo  $O$ :

$$O = V + L + T \quad (2)$$

I costi di capitale  $C$  sono dati dalla somma degli ammortamenti  $A$ , degli interessi  $I$  e della restituzione dei prestiti  $B$ :

$$C = A + I + B \quad (3)$$

Il costo di produzione  $P$  sarà dato dalla somma del costo operativo  $O$  e del costo di capitale  $C$ :

$$P = O + C \quad (4)$$

La vendita del prodotto porta a un certo ricavo  $R$  da cui si possono ottenere tutta una serie di grandezze ed indici che definiscono l'economia dell'impianto. Abbiamo innanzitutto il margine lordo operativo  $ML$  che può essere definito come la differenza tra il ricavo  $R$  e il costo operativo  $O$ :

$$ML = R - O \quad (5)$$

Abbiamo quindi il margine netto definito come la differenza tra il ricavo  $R$  e il costo di produzione  $P$ :

$$MN = R - P \quad (6)$$

Un'altra grandezza importante è rappresentata dal cosiddetto "cash flow"  $CF$  che è dato dal margine netto  $MN$  più gli ammortamenti  $A$ :

$$CF = MN + A \quad (7)$$

esso rappresenta la liquidità generata dall'impianto e disponibile per nuovi investimenti ed eventualmente anche per la distribuzioni di utili. Possiamo infine definire due indici, che sono usati soprattutto per misurare la redditività di un investimento in un impianto e che sono:

Il **ritorno di investimento RDI** definito come il rapporto tra il valore dell'investimento  $I$  e il margine lordo  $ML$ :

$$RDI = I/ML \quad (8)$$

**ECONOMIA DI UN PROCESSO CHIMICO**  
(base annua)

Grandezza	Simbolo	Formula
Costo materie prime	M	
Costo energia	E	
Costi variabili	V	$(M + E)$
Costo manodopera	L	
Costo manutenzione	T	
Costo operativo	O	$(V + L + T)$
Ammortamento	A	
Interessi passivi	S	
Restituzione prestiti	B	
Costo capitale	C	$(A + S + B)$
Costo produzione	P	$(O + C)$
Ricavo vendita prodotto	R	
Margine lordo	ML	$(R - O)$
Margine netto	MN	$(R - P)$
Cash Flow	CF	$(R - P + A)$
Investimenti	I	
Ritorno di investimento	R.D.I.	I/ML
Tasso di redditività	TR%	$ML/I * 100$

**Fig. 2. Schema semplificato del conto economico di un impianto chimico**

esso si misura in genere in anni e rappresenta il numero di anni necessari affinché il margine lordo cumulato eguagli l'investimento fatto.

Il **tasso di redditività percentuale TR%** che rappresenta il rapporto tra il margine lordo ML e l'investimento I:

$$TR\% = ML/I \cdot 100 \quad (9)$$

Nel prossimo paragrafo vedremo come queste grandezze e indici siano in relazione con l'economia dell'impianto.

### **Condizioni di economicità di un impianto**

L'operazione di un impianto può considerarsi in generale economicamente sana se il margine netto MN è positivo:

$$MN > 0 \quad (10)$$

In condizioni difficili di mercato la situazione espressa dalla (10) può non essere rispettata, se però il "cash flow", ovvero la somma del margine netto (che è negativo in questo caso) e gli ammortamenti, rimane positivo:

$$CF > 0 \quad (11)$$

la situazione può essere considerata accettabile nella misura che non si prolunghi nel tempo. Infatti in questo caso si rinuncia semplicemente all'accantonamento degli ammortamenti sperando che nei futuri esercizi i margini netti di esercizio possano compensare la riduzione degli ammortamenti. Se il valore di "cash flow" diventa negativo l'impianto perde soldi e la situazione può diventare insopportabile.

Un caso ancora più critico è quello in cui anche il margine lordo ML sia negativo, il che significa che il ricavo R non riesce nemmeno a coprire i costi operativi O. Questo caso può sfociare in una chiusura dell'impianto.

Riguardo agli indici RDI e TR%, essi sono usati soprattutto per giudicare la validità di un investimento in un nuovo impianto. Attualmente un investimento industriale è considerato economicamente interessante per:

- RDI dell'ordine di uno o due anni nel caso di piccoli investimenti di miglioria degli impianti.
- RDI dell'ordine di 4 o 5 anni nel caso di grandi investimenti per nuovi impianti.

Riguardo al tasso TR% esso deve comunque essere superiore al tasso di interesse applicato sugli eventuali prestiti necessari per coprire l'investimento.

## RICERCA DELLE CONDIZIONI OTTIMALI DI FUNZIONAMENTO

L'operatore responsabile di un impianto ha in genere il compito di ottimizzare le condizioni di funzionamento dell'impianto in maniera da minimizzare il costo operativo  $O$ . Questo è in genere realizzato con una scelta oculata delle materie prime e dei valori ottimali dei parametri di processo sul piano sia tecnico che economico.

Se è abbastanza facile valutare l'economicità di un impianto sulla base dei risultati di un esercizio concluso, non è altrettanto facile stimare l'economia futura dell'impianto sulla base di un nuovo piano di produzione unito magari a differenti materie prime disponibili. Occorre infatti molta esperienza ed abilità per prevedere il comportamento del processo al variare di alcuni dei suoi parametri e trarne le conclusioni in termini di conto economico. Ad esempio una nuova materia prima disponibile sul mercato può essere meno costosa ma presentare problemi di resa o purezza a livello del processo che annullano i vantaggi di costo e che la possono rendere addirittura antieconomica. Inoltre delle differenze importanti in un piano di produzione dell'impianto possono portare a variazioni dei consumi energetici specifici che non sono sempre facili da prevedere. D'altra parte scelte sbagliate di materiali o riparazioni a livello di manutenzione ordinaria possono portare a costosi interventi straordinari sull'impianto con riduzione della produzione. Un aiuto al calcolo di previsione economica di un piano di produzione può venire dall'uso di modelli di simulazione dell'impianto che possono essere usati per prevedere le condizioni di funzionamento e ottenere i risultati dei conti economici corrispondenti. Questo ha permesso di migliorare la precisione delle previsioni e soprattutto ridurre il tempo necessario per la loro elaborazione.

In generale i modelli più semplici di simulazione sono quelli di gestione. Questi modelli si possono facilmente sviluppare per qualsiasi tipo di impianto e si basano su un insieme di parametri (tassi di consumo, tassi di produzione, capacità di produzione, ecc.) che permettono di simulare in maniera semplice il funzionamento dell'impianto e calcolarne l'economia. In generale le variabili di processo usate sono collegate con equazioni lineari ed il numero delle interdipendenze è abbastanza limitato. In realtà le risposte degli impianti reali alle variazioni dei parametri non sono quasi mai completamente lineari ed è necessario quindi intervenire con modifiche aggiuntive dei parametri, sulla base delle conoscenze pratiche del processo, per avere dei risultati attendibili in certe condizioni particolari di funzionamento. Anche se matematicamente è possibile realizzare modelli di simulazione con equazioni non lineari l'interesse pratico di questi modelli è limitato a causa del numero molto elevato e della difficoltà di misura pratica dei parametri che sarebbero necessari per far funzionare il modello. Modelli specifici più complessi sono stati sviluppati per la simulazione di processo. Essi possono servire di aiuto per ottimizzare il funzionamento e il controllo del processo e anche usare per calcolare tassi di consumo o produzione utilizzabili in seguito nei modelli di gestione. Questi modelli sono sviluppati sulla base di due tipi di approccio:

- approccio empirico ricostruendo a tavolino le risposte dei vari parametri di processo alle variabili sulla base di misure effettuate sull'impianto.
- approccio chimico-fisico cercando di comprendere il funzionamento del processo attraverso un modello che è in genere basato su leggi termodinamiche e idrodinamiche.

Il primo approccio da risultati limitati all'impianto su cui è stato studiato. Il secondo approccio è più difficile ma permette un uso più generale del modello. Esiste anche un approccio misto che può dare risultati interessanti. L'approccio chimico fisico, anche se più difficile e costoso, rimane comunque il più interessante e ha permesso di sviluppare un numero abbastanza importante di modelli. Naturalmente non esistono modelli per tutti i tipi di processi utilizzati industrialmente, esistono però ad esempio modelli di simulazione destinati a seguire operazioni come la distillazione, la gasificazione del carbone, come pure l'altoforno, il convertitore a ossigeno per la produzione dell'acciaio e altri ancora. In definitiva l'operatore responsabile dell'impianto ha attualmente a disposizione, con l'uso dell'elaborazione elettronica, numerose possibilità di calcolo,

soprattutto attraverso i modelli di simulazione, che gli permettono di calcolare rapidamente i differenti casi possibili e scegliere così i materiali e le condizioni di operazione economicamente ottimali per un certo piano di produzione. Nel prossimo capitolo presenteremo un esempio di modello di simulazione con alcuni risultati che mostrano come l'economia di un impianto sia collegata in maniera complessa con i parametri di funzionamento, i tipi di materie prime e il piano di produzione previsto.

## **ESEMPIO DI ECONOMIA DI IMPIANTO: L'ACCIAIERIA ELETTRICA**

Al fine di meglio comprendere le informazioni generali date nei capitoli precedenti si è considerato un esempio reale di impianto che è stato modellizzato secondo uno schema semplice di gestione su calcolatore. Come esempio di impianto si è scelto il caso di un'acciaieria elettrica tradizionale. Anche se un'acciaieria non si può considerare un impianto chimico vero e proprio, l'operazione di fusione, disossidazione e desolfurazione dell'acciaio nel forno elettrico si può ricondurre a un processo chimico. Le altre operazioni fatte in un'acciaieria, come la laminazione, sono di tipo manifatturiero. Si è comunque ritenuto particolarmente interessante dare un esempio in cui operazioni di tipo chimico sono collegate ad operazioni di tipo manifatturiero e veder come anche quest'ultime possano essere trattate in maniera simile sul piano della gestione.

### **Descrizione dell'acciaieria elettrica**

L'acciaieria elettrica considerata nel nostro esempio comprende un forno elettrico o a arco che produce acciaio liquido a partire da rottame, una macchina per la colata continua per la produzione di billette, un laminatoio continuo con forno di preriscaldamento per la produzione mista di tondino per cemento armato e vergella. Una parte della vergella è trattata in un impianto di trafilatura a freddo per la produzione di filo d'acciaio. L'impianto è schematizzato nella Fig.3. e una descrizione più dettagliata degli impianti è riportata qui di seguito.

### **Forno elettrico**

Il forno elettrico usa rottame di ferro come materia prima che viene fuso usando un arco prodotto con tre elettrodi di grafite. Esso consuma essenzialmente energia elettrica, e in alcuni casi dell'olio combustibile e ossigeno per bruciatori addizionali. I materiali ausiliari sono gli elettrodi di grafite, coke, ossigeno, materiali refrattari e ferroleghie.

### **Colata continua**

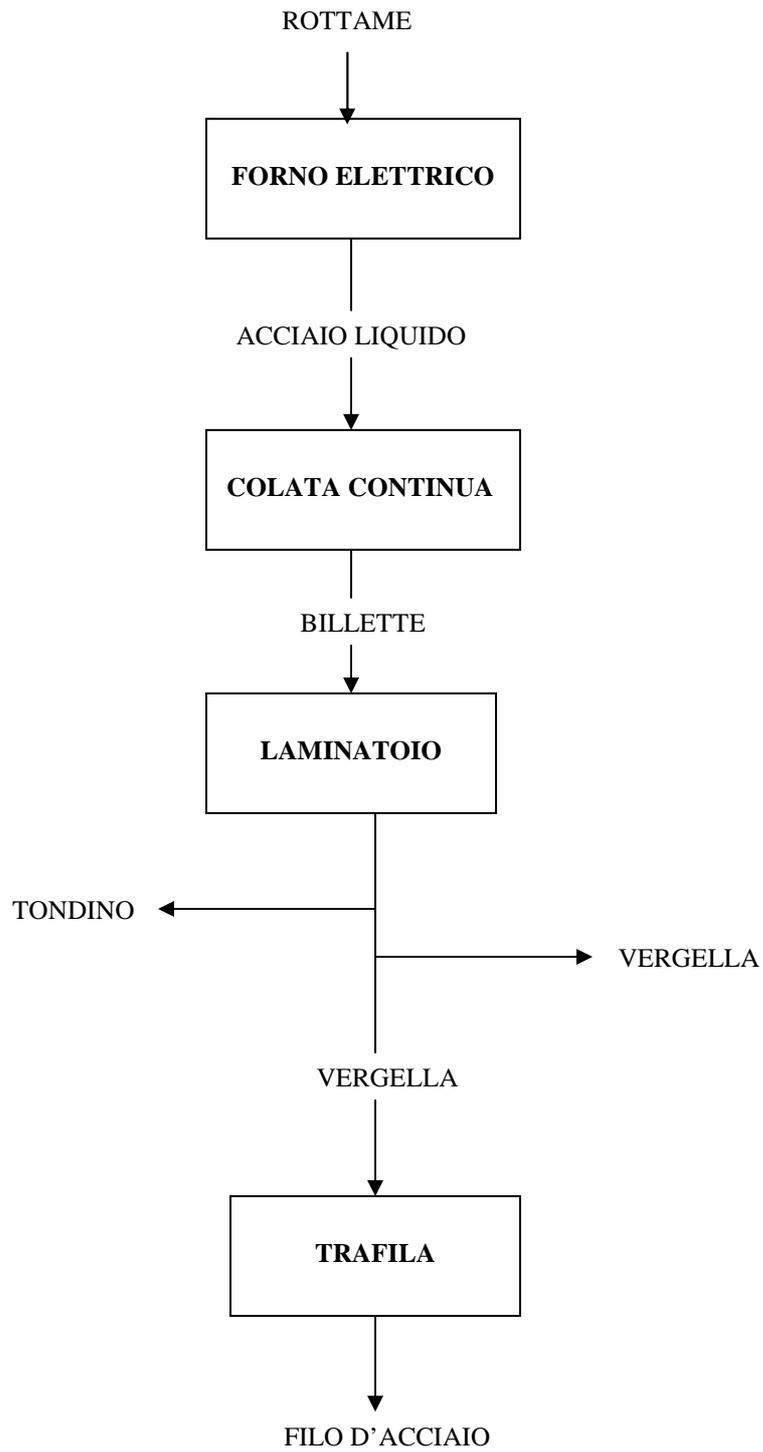
Questa macchina solidifica l'acciaio liquido in parallelepipedi di sezione rettangolare o quadrata, con lati dell'ordine di 100-150 mm, e una lunghezza dell'ordine di una decina di metri chiamati billette. Essa consuma essenzialmente elettricità, olio combustibile per i preriscaldatori e propano per il taglio delle billette a misura. Essa genera anche del rottame di billette che viene riciclato al forno.

### **Laminatoio**

Le billette vengono caricate in un laminatoio continuo, preriscaldato in forno, e laminate per essere trasformate in tondino per cemento armato o in matasse di filo grosso chiamate vergella. Questi prodotti costituiscono la produzione principale dell'acciaieria. Un laminatoio consuma essenzialmente olio combustibile per il forno di preriscaldamento ed energia elettrica per la laminazione e genera rottame che è riciclato.

### **Trafilatura a freddo**

Una parte della vergella o bobina prodotta è trafilata a freddo e trasformata in filo d'acciaio. In questo impianto si consuma essenzialmente energia elettrica per la trafilatura e si genera rottame di riciclo.



**Fig. 3. Schema dell'acciaieria elettrica considerata**

L'acciaieria considerata ha una capacità di laminazione superiore alla capacità di fusione, e in caso di forte domanda di tondino o vergella, essa può acquistare billette dall'esterno per la laminazione. D'altra parte esiste anche la possibilità che una parte delle billette prodotte siano direttamente vendute come tali.

## **MODELLO DI SIMULAZIONE DELL'ACCIAIERIA**

Per la determinazione delle condizioni economiche dell'acciaieria ci si è servito di un modello semplice che simula il suo funzionamento e che permette di studiare su un calcolatore personale i vari parametri al fine di ricercare delle condizioni ottimali di funzionamento.

Il modello usato si compone essenzialmente di un sistema di calcolo che, partendo da un piano di produzione stabilito, calcola i vari consumi energetici e di materie prime e infine dei costi di produzione dell'acciaio. Per questo calcolo il modello usa circa una trentina di parametri che devono essere scelti secondo le condizioni di funzionamento stabilite per l'acciaieria. Questi parametri si compongono essenzialmente da:

- Capacità di produzione dei vari impianti riportati nello schema della Fig.3.
- Tassi di consumo dei materiali (rottame, billette, ecc.) riferiti a un'unità di prodotto dell'impianto (acciaio liquido, billette, ecc.).
- Tassi di produzione di sottoprodotti nei vari impianti (rottame che è riciclato al forno elettrico).

### **Costo di produzione dell'acciaio**

Attraverso il modello si può calcolare il costo di produzione dell'acciaio ad esempio per il piano di produzione annuale seguente:

Billette vendute: 100 t  
Vergella: 85000 t  
Tondino: 180000 t  
Filo: 45000 t

Questa produzione non richiede l'acquisto esterno di billette e usa le capacità di produzione delle varie unità nella maniera seguente:

Forno a arco: 99%  
Colata continua: 83%  
Laminatoio: 69%  
Trafila: 30%

I consumi principali annuali calcolati sono:

### **Materiali**

Rottame: 330059 t  
Coke: 2069 t  
Elettrodi: 931 t  
Ossigeno: 4138 Dm<sup>3</sup>

## **Energie**

Elettricità: 225269 Mwh

Olio combustibile: 2442 t

Olio pesante: 12115 t

Propano: 993 t

Il calcolo del costo di produzione effettuato con il modello per una produzione di 310100 t/a risulta di 354968 Lit/t ed è basato sulla presenza di personale pari a 350 operai, 25 impiegati e tre dirigenti. Il costo del capitale è stato calcolato molto semplicemente sulla base di un ammortamento di 5 anni dell'investimento per l'acciaieria stimato a 60 miliardi. In questo caso il costo di capitale è ottenuto dividendo l'investimento per 5 e per la produzione di acciaio pianificata per avere un costo unitario. Il costo principale è rappresentato dalle materie prime e dall'energia (circa il 70% del costo di produzione) e in particolare dal costo del rottame che costituisce circa il 60% dei costi variabili.

## **Studio parametrico del costo di produzione**

Usando il modello di simulazione disponibile è interessante esaminare come varia il costo di produzione se ci si discosta dalle condizioni di funzionamento e dal piano di produzione previsto. A titolo di esempio abbiamo studiato l'influenza di alcuni costi importanti, come quelli del rottame e dell'energia elettrica, sul costo di produzione per una precisata quantità di acciaio prodotta. Un caso un po' più complicato, ma interessante da studiare, riguarda il caso di un cambiamento di qualità delle materie prime come il rottame. In questo caso non basta considerare la variazione del prezzo ma occorre anche considerare i costi indotti da differenti condizioni di funzionamento degli impianti causati da un'eventuale differenza di qualità del rottame. Nel caso del rottame l'influenza si manifesta essenzialmente nelle condizioni di funzionamento del forno elettrico. Avendo disponibile un modello di simulazione di processo del forno ad arco, l'introduzione delle differenti caratteristiche del rottame (tenore di ferro, pezzatura, ecc.) permetterebbe di calcolare le differenti condizioni di funzionamento del forno prevedibili. In realtà un modello simile per il forno ad arco non è disponibile ed occorre allora basarsi sull'esperienza. Infatti la qualità del rottame influenza essenzialmente il suo consumo per unità di acciaio liquido prodotto, il consumo di elettrodi di grafite e di elettricità. Considerando due tipi di rottame A e B l'esperienza ci potrebbe suggerire le condizioni di funzionamento seguenti:

### **Rottame A**

Consumo per unità di acciaio liquido: 1015 t/t

Consumo di elettrodi di grafite: 2,5 Kg/t

Consumo di energia elettrica: 485 Kwh/t

### **Rottame B**

Consumo per unità di acciaio liquido: 1030 t/t

Consumo di elettrodi di grafite: 3,0 Kg/t

Consumo di energia elettrica: 505 Kwh/t

Introducendo questi due insiemi di parametri nel nostro modello di simulazione è possibile calcolare la variazione dei costi di produzione dell'acciaio in funzione del costo del rottame A e B e i calcoli sul modello mostrano che il rottame B, a parità di prezzo con A, conduce a costi di produzione più elevati poiché presenta condizioni di utilizzazione più gravose. Il modello permette anche di calcolare a quale prezzo il rottame B può essere comprato senza che il costo di produzione dell'acciaio aumenti. Infatti supponendo un costo del rottame A di 125000 Lit/t si può vedere che il rottame B deve costare non più di 118000-119000 Lit/t per evitare un aumento del costo di

produzione dell'acciaio. Con il modello si possono calcolare anche i costi di produzione e i costi operativi in funzione della produzione pianificata. Così il costo di produzione dell'acciaio può scendere da un valore di circa 410000 Lit/t per una produzione di 180000 t/a a un valore di circa 330000 Lit/t per una produzione di 440000 t/a. I calcoli con il modello mostrano anche che i costi aumentano in maniera non lineare con l'abbassarsi del livello di produzione e in particolare il costo di produzione risulta più influenzato che il costo operativo. La ragione di queste variazioni risiede nel fatto che esistono dei costi fissi, che ripartiti su una produzione decrescente, fanno aumentare grandemente i costi unitari. Nel caso del costo operativo i costi fissi sono rappresentati dalla manodopera, nel caso del costo di produzione oltre alla manodopera abbiamo come costi fissi anche il costo di capitale, il che spiega la maggiore influenza della produzione su questo tipo di costo.

## **CONCLUSIONI**

In conclusione possiamo dire che il calcolo delle condizioni economiche di un impianto chimico e l'ottimizzazione economica del suo funzionamento risulta un'operazione complessa che domanda una profonda conoscenza degli aspetti tecnici di funzionamento dell'impianto unita a una buona impostazione economica del calcolo. Lo sviluppo e l'uso di modelli di gestione su calcolatore, eventualmente associato all'uso di modelli di simulazione di processo, può aiutare grandemente questo lavoro sia in termini di precisione che in termini di rapidità. La pratica industriale e i risultati ottenuti con i modelli di simulazione mostrano tutta la complessità e le interdipendenze esistenti tra caratteristiche tecniche dei materiali, condizioni di funzionamento dei processi e gli aspetti economici dell'impianto.