

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

---

FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI  
Corso di Laurea Magistrale in Scienze di Internet

**CICLO PRODUTTIVO  
DELL'ACCIAIO:  
IL FORNO ELETTRICO**

Tesi di Laurea in Analisi dinamica dei sistemi aziendali

**Relatore:**  
Chiar.mo Prof.  
Edoardo Mollona

**Presentata da:**  
Camillo Carlini

**Sessione III**  
**Anno Accademico 2010/2011**

# Indice

<b>1</b>	<b>System Dynamic</b>	<b>3</b>
1.1	Storia System Dynamic . . . . .	3
1.2	Cos'è la System Dynamic . . . . .	6
1.2.1	I circuiti di retroazione: variabili livello e variabili flusso . . . . .	7
1.2.1.1	Un esempio di relazione fra variabili flusso e livello . . . . .	7
1.2.2	I circuiti di retroazione: le funzioni decisioni . . . . .	10
1.2.2.1	Un esempio di 'funzione decisione' . . . . .	11
<b>2</b>	<b>Il Ciclo Produttivo dell'Acciaio</b>	<b>12</b>
2.1	Perché l'Acciaio . . . . .	12
2.2	Evoluzione Storica . . . . .	14
2.2.1	Forno ad arco diretto . . . . .	18
2.2.2	Forno ad arco indiretto . . . . .	19
2.2.3	Forno ad induzione . . . . .	20
2.2.4	Acciaieria elettrica . . . . .	21
2.2.5	Processo produttivo . . . . .	23
2.2.5.1	Caricamento del forno . . . . .	24
2.2.5.2	Fusione . . . . .	25
2.2.5.3	Laminazione . . . . .	26
2.2.6	Storia siderurgia elettrica italiana . . . . .	27
2.3	Spiegazione del modello . . . . .	30
2.4	Simulazione in equilibrio . . . . .	41
<b>3</b>	<b>Analisi</b>	<b>49</b>
3.1	Simulazione 1 . . . . .	49

<i>INDICE</i>	2
3.2 Simulazione 2 . . . . .	51
3.3 Simulazione sui 3 anni . . . . .	58
3.3.1 Simulazione uno con %vendite: primo anno= 0,65%, secondo anno 0,95%, terzo anno = 0,70% . . . . .	58
3.3.2 Simulazione due con %vendite: primo anno= 0,65%, secondo anno 0,95%, terzo anno = 0,95% . . . . .	63
3.3.3 Simulazione tre con %vendite: primo anno= 0,65%, secondo anno 0,90%, terzo anno = 0,20% . . . . .	64
3.3.4 Simulazione quattro con %vendite: primo anno= 0,65%, secondo anno 0,20%, terzo anno = 0,20% . . . . .	68
<b>4 Conclusioni</b>	<b>72</b>

# Capitolo 1

## System Dynamic

### 1.1 Storia System Dynamic

La nascita della System Dynamic (SD) si può far risalire alla ormai lontana seconda guerra mondiale dove, Jay Forrester e Gordon Brown, due studiosi sul controllo dei circuiti di retroazione del Massachusetts, incentrano i propri studi sullo sviluppo di simulatori di voli e sui sistemi di controllo di antenne e cannoni. In particolare questo portò alla nascita del SAGE (Semi-Automatic Ground Environment), un sistema di difesa aerea basata sullo sviluppo sperimentale di sistemi informativi da utilizzare in combattimento. Successivamente a quest'esperienza venne fondata al MIT la Sloan School of Management dove Forrester entra nel 1956 gettando le vere e proprie basi della SD. Insieme ad altri ricercatori costruì dapprima un modello matematico e successivamente un vero e proprio programma (DYNAMO) nel tentativo di spiegare ad un'azienda, la General Electric, i motivi dell'alternarsi della capacità produttiva nel campo degli elettrodomestici. Egli sosteneva infatti che questa «altalena» era dovuta alla struttura aziendale, che impiegava troppo tempo nel processo decisionale.

Dalla costruzione di DYNAMO, in particolare, si creò la possibilità di costruire e simulare altri modelli di simulazione. Questo diede a Forrester la possibilità di sviluppare in modo sistematico la sua metodologia di analisi dei comportamenti delle aziende, la quale era basata sull'applicazione al management delle teorie sui servomeccanismi e sul controllo dei circuiti di retroazione. Tutto il suo lavoro venne raccolto e poi pubblicato, nel 1961, in un manuale «Industrial Dynamics». Il gruppo di ricercatori capeggiato da

Forrester al MIT crebbe velocemente e altrettanto velocemente acquisì popolarità, nonostante, in alcuni casi, i risultati degli studi che conducevano furono seguiti da aspre critiche. In particolare, in riferimento a queste critiche, si può ricordare lo studio condotto sulla costruzione delle abitazioni per le classi meno abbienti (Urban Dynamics, 1969) che fece emergere dei forti dubbi sulla validità a lungo termine di molte delle politiche che caratterizzavano l'intervento pubblico nelle grandi città statunitensi. Nel 1970, la System Dynamic, fece la sua prima apparizione anche in Italia, dove il «Club di Roma» (gruppo di 75 persone, provenienti da 25 nazioni, che sponsorizzavano progetti di ricerca volti all'analisi di temi che riguardavano le prospettive di sviluppo economico e sociale), con l'aiuto di Forrester, sviluppò un progetto di ricerca che studiasse la sostenibilità dello sviluppo economico sul nostro pianeta. Venne così costruito un modello di simulazione per studiare le prospettive di sviluppo e illustrare una serie di possibili scenari futuri (World Dynamic, 1971) spiegando come l'evoluzione del sistema-mondo poteva essere studiato analizzando l'interazione tra tre sotto-sistemi: il sistema della produzione industriale, il sistema della popolazione umana, con le dinamiche demografiche che lo caratterizzano, e il sistema della produzione agricola. Ciò scatenò forti critiche, ma allo stesso tempo accrebbe sia la popolarità del realizzatore che della SD stessa. Forrester non si focalizzava soltanto sulla capacità del modello di prevedere particolari stati puntuali del sistema o sulla precisione con cui le ipotesi del modello erano state testate, ma si concentrava sulle possibilità che il modello offriva di comprendere la logica con cui le variabili principali interagiscono, il ruolo che ciascuna di esse gioca ed i punti in cui il sistema è sensibile agli interventi. Inoltre era in grado di sostenerlo grazie agli scenari che emergevano realizzando ipotesi alternative circa lo stato del sistema. Ovviamente questi due progetti appena descritti sono solo alcuni dei progetti cui Forrester è stato impegnato nei suoi anni di attività che tuttavia si ritiene importante citare perché fondamentali nella crescita della metodologia SD. Grazie al successo che ebbe Forrester si sviluppò un importante filone di studi che diede vita al System Dynamic Group del MIT, fondamentale per la diffusione della SD e tra i cui ricercatori ricordiamo:

- Peter Senge (La Quinta Disciplina, 1990);
- John Sterman, che utilizzò i principi del SD per studiare problemi legati ai processi decisionali nelle aziende;
- John Morecroft che studiò il ruolo che potevano ricoprire i modelli SD utilizzati come strumento a supporto delle scelte strategiche contribuendo alla diffusione del SD in Europa e rinvigorendo il legame tra SD e gli studi di strategic management.

E' inoltre utile sottolineare come lo sviluppo dell'SD è stato agevolato dal continuo incremento delle capacità computazionale dei calcolatori negli anni. In principio la soluzione analitica delle equazioni differenziali, che descrivono il comportamento, era molto complessa e rappresentava un grande limite sia per i sistemi molto complessi che per quelli più semplici.

## 1.2 Cos'è la System Dynamic

La System Dynamics è un approccio allo studio del comportamento dei sistemi e, in particolare, dei sistemi socio/economici in cui si enfatizza il ruolo dell'intreccio tra politiche, strutture decisionali e ritardi temporali nell'influenzare i fenomeni dinamici. Questi si basano su due concetti fondamentali:

- la divisione tra variabili di stato (livello/stock) e la dinamica di queste (flusso/flow);
- la presenza di circuito di retroazione (feedback loop)

In particolare si può dire che un circuito di retroazione esiste ogni qualvolta lo stato di un sistema genera un'azione che determina un cambiamento dello stato originale del sistema stesso, fungendo da base per le decisioni future. Forrester nel lontano 1941, diceva: «un circuito di retroazione definisce un sistema in cui lo stato del sistema stesso fornisce le informazioni che orientano un'azione diretta a variare lo stato del sistema, quindi, a plasmare le azioni future». Se da una parte la SD afferma che dall'intreccio di processi decisionali, flussi informativi e relazioni interpersonali all'interno delle aziende, emergano strutture costituite da circuiti di retroazione concatenati, dall'altra ipotizza che i comportamenti dei sistemi siano la conseguenza delle caratteristiche strutturali che assumono tali aggregazioni di circuiti di retroazione e regolano il "tasso" (rate) di accumulazione o erosione delle variabili livello (stock) in essi compresi.

### 1.2.1 I circuiti di retroazione: variabili livello e variabili flusso

Tuttavia non bastano le poche righe precedenti per spiegare cosa sia la SD e cosa faccia. Il padre della System Dynamic (Forrester) sosteneva che le variabili livello creano continuità tra presente e futuro, tra momenti successivi nel tempo, poiché esse contengono le informazioni necessarie per definire le decisioni e, quindi, le azioni future. I circuiti di retroazione descritti in precedenza, infatti, si compongono di variabili chiamate di «livello» e variabili chiamate «flussi». Le variabili livello rappresentano lo stato di un sistema da cui partono i flussi di informazione. Esse sono utilizzate per definire una decisione che andrà a stimolare un'azione. Quest'ultima, poi, agirà su una variabile flusso che cambierà lo stato delle variabili livello e, quindi, del sistema. Da quanto appena detto, è facile capire come le variabili livello risultino fondamentali nel definire lo stato del sistema. Infatti, non solo ne descrivono lo stato come un'accumulazione di azioni passate ma costituiscono le risorse fondamentali sulla base delle quali sarà poi possibile effettuare azioni future.

#### 1.2.1.1 Un esempio di relazione fra variabili flusso e livello

L'utilizzo dei termini livello e flusso si basa sulla metafora del contenitore di liquido e della valvola, che riempie e svuota il contenitore stesso. Per esempio, se si vuole riempire una vasca da bagno, è necessario aprire la valvola e far scorrere l'acqua mentre, per svuotarla, si aprirà la valvola di scarico e gradualmente l'acqua defluirà (Mollona, 2008). Da qui si nota come la quantità di acqua nella vasca è una quantità conservata che può variare solo tramite aggiunte o deflussi di acqua. Se si vuole riempirla o svuotarla più velocemente non si può fare altro che agire tramite le valvole che aumentano il flusso in uscita o in entrata. Nelle aziende esistono degli elementi che, come le variabili livello, rappresentano delle quantità stock. Queste, nel corso della loro attività accumulano risorse di vario tipo (assumono dipendenti, acquistano materie prime e macchinari, raccolgono risorse finanziarie) che rappresentano le condizioni di produzione e contribuiscono a rendere possibile o ad ostacolare l'attività economica dell'azienda. Le condizioni di produzione sono generalmente considerate variabili livello, poiché rappresentano lo stato di un sistema in un dato istante. Inoltre, essendo il risultato di azioni/decisioni passate, permettono alle aziende di svolgere la propria attività economica rappresentando le potenzialità future. Oltre alle conoscenze e alle abilità dei dipendenti, alle relazioni



con i partner commerciali e all'immagine dell'azienda stessa, si includono nelle condizioni di produzione anche la disciplina professionale e la motivazione dei dipendenti, variabili intangibili che sono il risultato di come l'attività economica è stata svolta precedentemente in azienda. Come già detto, queste costituiscono la premessa per lo svolgimento dell'attività economica futura.

A tal proposito si può ricordare la People Express, una compagnia nata negli anni '80. Essa offriva un servizio di voli frequenti a basso costo sulle rotte non coperte dalle compagnie aeree più grandi ed ebbe un immediato successo, arrivando a fatturare circa 20 milioni di dollari in soli due anni. Il grande successo riscosso, portò la compagnia ad una rapida espansione, passando da tre a venti aeroplani disponibili e da circa 200 dipendenti a 1400. Una delle basi del successo della People Express era proprio l'entusiasmo e la motivazione dei dipendenti che da una parte, con la loro cortesia, creavano un'atmosfera particolarmente piacevole per i clienti e dall'altra, con il loro entusiasmo e loro la motivazione, ad accettare di buon grado i frequenti cambiamenti sulla mansione che dovevano svolgere all'interno dell'azienda. La motivazione dei dipendenti era, quindi, proprio una delle risorse fondamentali per lo svolgimento dell'attività aziendale che le permetteva di offrire un servizio di alta qualità e ottenere allo stesso tempo un risparmio nei costi. Il mantenimento della variabile livello «Motivazione» era, quindi, in People Express, una delle leve importanti per sostenere il proprio vantaggio competitivo (Molloy, 2008). Ipotizzando che il livello fosse alimentato da una variabile flusso «Incrementi di motivazione», troviamo almeno due fattori facevano funzionare tale variabile:

- l'esistenza di una serie di fattori che stimolavano la motivazione dei dipendenti che facevano appello alle prospettive di remunerazione stabiliti dal management ed erano collegati ai risultati conseguiti dall'azienda;
- il rinnovo della motivazione che faceva leva su elementi di tipo culturale, grazie alla creazione un clima piacevole con pochi livelli gerarchici, al lavoro in team, allo spirito di gruppo e al senso di responsabilità.

Tuttavia, una volta riempito, non si può pensare che lo stock «Motivazione» rimarrà sempre pieno senza alcun intervento successivo. Infatti, questo potrebbe man mano esaurirsi, com'è successo nel nostro esempio alla People Express.

Man mano che l'azienda cresceva, si rendeva necessaria l'assunzione di nuovi dipendenti. Con il passare del tempo il numero diventava sempre più inadeguato perché non si consideravano i ritardi necessari alla loro assunzione nella fase di selezione, dove si dovevano scegliere risorse umane di alta qualità e molto motivate. Così la People Express si trovò presto in una situazione di carenza cronica di servizio, eccessivo carico di lavoro e frustrazione, che nel linguaggio della SD sta a significare che, ad un certo punto, il flusso in entrata nella variabile Motivazione era diventato più debole rispetto al flusso in uscita, con la conseguente progressiva diminuzione dello stock «Motivazione», che era stata il vero fattore vincente della People Express (Mollona, 2008).

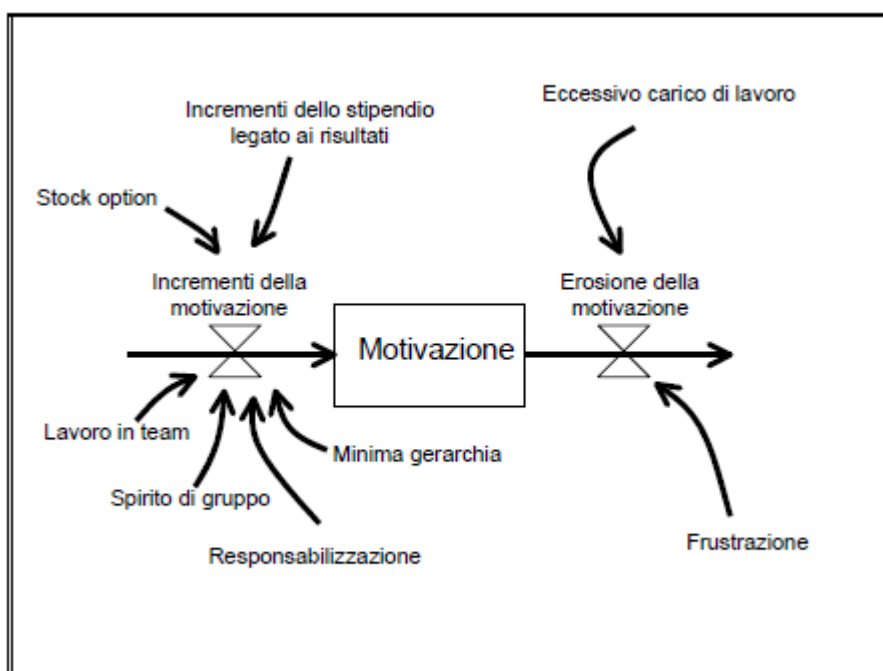


Figura 1.1: Variabile Flusso e Variabile Livello Polar Express

### 1.2.2 I circuiti di retroazione: le funzioni decisioni

Un terzo elemento fondamentale del circuito di retroazione di cui abbiamo parlato fin ora sono le funzione decisione. Esse contengono le indicazioni necessarie per l'azione delle variabili flusso e possono essere divise in due classi:

- quelle che descrivono processi necessari o fisiologici non legati ad una decisione cosciente da parte di un operatore, come ad esempio il grado di utilizzo e l'età media degli impianti che ne determinano il tasso di obsolescenza fisica;
- quelle che servono a modellare attività e operazioni vere e proprie

Tramite le prime il modello riproduce e approssima la dinamica di un processo di obsolescenza fisica che non implica alcuna decisione cosciente, mentre con le seconde riproduce un vero e proprio processo decisionale.

Forrester, nel lontano 1961, spiegò come le 'funzioni di decisione' fossero un concetto generale utile a indicare semplicemente l'equazione algebrica che è contenuta nella variabile flusso.

### 1.2.2.1 Un esempio di 'funzione decisione'

Nell'immagine 1.2 si è ipotizzato che la variabile livello 'Dipendenti' rappresenti il numero dei dipendenti di un'azienda. Questa è alimentata da una variabile flusso 'assunzioni' che rappresenta le assunzioni da parte di un'azienda di nuovo personale e rappresenta una decisione vera e propria. Si può infatti facilmente immaginare che per decidere quanto personale assumere ci si baserà sul numero di dipendenti attualmente assunti e sulla loro produttività (come si potrà notare anche nel modello descritto successivamente circa il ciclo produttivo dell'acciaio).

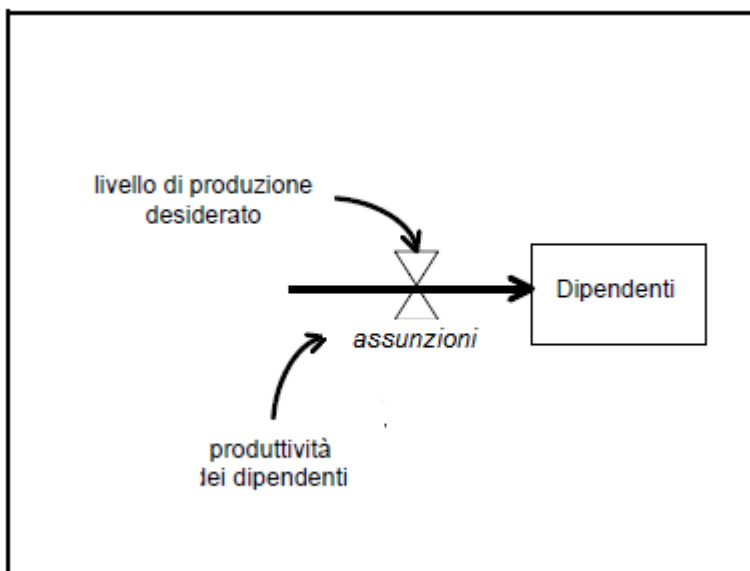


Figura 1.2: Funzione decisione

# Capitolo 2

## Il Ciclo Produttivo dell'Acciaio

### 2.1 Perché l'Acciaio

«L'acciaio è da sempre stato considerato un materiale prezioso per la vastità dei suoi impieghi, ma è solo grazie alla produzione industriale ottenuta dalle grandi unità siderurgiche che ha potuto essere sfruttato in tutte le sue potenzialità» (Federacciai, 2012). Oltre il 40% degli attuali prodotti siderurgici non esisteva in Europa fino pochi anni fa, mentre oggi è utilizzato in tutti i comparti produttivi e, grazie alla gamma sempre più estesa di utilizzazioni, risulta praticamente fondamentale nella nostra vita quotidiana rendendo case, luoghi di lavoro e città più moderni, funzionali e sicuri. (Federacciai, 2012). Si potrebbe stilare un breve elenco delle sue aree di applicazione per far comprendere meglio la sua utilità e la sua importanza:

- E' utilizzato nel settore edile ed in particolare nelle costruzioni edilizie, in quanto risulta essere un materiale resistente alle sollecitazioni e agli agenti atmosferici ( come ad esempio le moderne costruzioni in tensostruttura). Inoltre, mentre in passato l'acciaio veniva considerato un materiale fondamentale ma allo stesso tempo stilisticamente inadeguato, nell'architettura contemporanea, oggi, questo materiale è considerato molto importante anche per realizzazioni ad alto impatto estetico (Federacciai, 2012);
- E' utilizzato in maniera consistente nell'industria dei trasporti, la quale rappresenta

ancora oggi uno dei settori forti dell'economia dei paesi industrializzati. Per avere un'idea di ciò si può pensare alle automobili, che sono costituite da materiale d'acciaio per una parte tra il 50 e il 70% del peso di un'autovettura, ma non solo. Infatti, oltre all'evidente impiego nell'industria automobilistica, l'acciaio occupa una posizione preminente nell'industria ferroviaria, sia nella produzione dei treni che in quella delle rotaie, in quella navale ed aeronautica (Federacciai, 2012);

- E' utilizzato nel campo delle estrazioni petrolifere. Come detto in precedenza, la grande resistenza di questo materiale trova ulteriore conferma nel momento in cui, gli acciai definiti più complessi, vengono utilizzati in condizioni particolarmente difficili, come quelle presenti nell'estrazione del greggio. Qui le alte temperature e le forti pressioni richiedono soluzioni affidabili e sicure che ad oggi possono essere realizzate solo tramite questo materiale (Federacciai, 2012);
- E' utilizzato per la realizzazione degli oleodotti e dei gasdotti per le sue caratteristiche strutturali ed economiche (Federacciai, 2012);
- E' utilizzato negli impianti chimici e petrolchimici, in quanto permette la costruzione delle necessarie tubazioni che devono resistere non solo all'azione corrosiva dei fluidi trattati ma anche a condizioni di temperatura e pressione particolarmente elevate (Federacciai, 2012);
- E' utilizzato all'interno delle centrali per la produzione di energia elettrica. Infatti tutti i principali componenti come le caldaie (i cui principali componenti sono tubi in acciaio senza saldatura resistenti sia allo scorrimento che alle sollecitazioni termiche, meccaniche e corrosive), le turbine (realizzate con acciai differenziati per resistere alle alte temperature e all'usura nelle parti mobili), i condensatori (realizzati in acciai inossidabili per fronteggiare i fenomeni di corrosione) vengono realizzati in acciaio (Federacciai, 2012);
- E' utilizzato, sotto forma di laminati in acciaio inossidabile, per la produzione di grandi elettrodomestici (frigoriferi, lavatrici, lavastoviglie, condizionatori ecc.), componenti (motori elettrici, compressori per frigoriferi e condizionatori) e sanitari (Federacciai, 2012) ;

- E' anche utilizzato per la conservazione dei cibi, in quanto, l'acciaio, rappresenta un materiale che garantisce un elevato livello di igiene e di resistenza ai batteri. a tal proposito lo si utilizza per i contenitori di prodotti a lunga conservazione, anche grazie alla sua resistenza alla corrosione che lo rende il materiale ideale per la costruzione di barattoli e fusti per vernici, pitture ed altri prodotti chimici (Federacciai, 2012);

Questi sono soltanto alcuni esempi per far comprendere meglio l'importanza dell'acciaio al giorno d'oggi. Ovviamente si è limitato l'elenco a quello appena scritto per non dilungarsi inutilmente, anche se l'acciaio trova applicazioni in innumerevoli altri campi pratici, come ad esempio l'industria manifatturiera e meccanica.

## 2.2 Evoluzione Storica

La nascita dell'acciaio si può collocare nella lontana età del ferro (1200 A.C.). In principio veniva prodotto abbastanza casualmente. Durante i processi di lavorazione del ferro ed in particolare in quello di 'carburazione', per rendere il ferro più malleabile e meno fragile, si ricorreva all'utilizzo di sostanze carboniose. Si può capire già da queste prime frasi come il quantitativo di carbonio mescolato al ferro dia vita a diverse tipologie di acciaio più o meno resistente. In particolare, le combinazioni che vedevano un contenuto maggiore dell'1,78% producevano una sostanza ancora oggi usata nel processo produttivo dell'acciaio: la «Ghisa». Secondo alcuni studi condotti sui materiali più abbondanti presenti sulla terra, si è stabilito che, il ferro, minerale fondamentale per la realizzazione dell'acciaio, rappresenta circa il 35% della massa del nostro pianeta ed è il decimo elemento in fatto di abbondanza, il che giustifica in parte il suo enorme utilizzo in molti campi.

Uno dei primi scienziati italiani a parlare di acciaio fu Vannoccio Biringuccio, «una delle figure più importanti del Rinascimento come metallurgista, mineralogista, chimico e tecnico. Le sue nozioni erano vaste e dopo la sua morte furono riportate nel trattato 'De la pirotechnia'» (Trecani.it). Tuttavia, non si poteva ancora parlare di acciaio vero e proprio come lo conosciamo oggi, bensì di una sostanza molto più simile alla ghisa,

che raggiungeva lo stato liquido in tempi notevolmente minori rispetto all'acciaio ed aveva un punto di fusione notevolmente più basso. Solo con una successiva lavorazione della ghisa liquida, si riesce ad ottenere l'acciaio. Per far ciò si deve attendere il 1750, quando Benjamin Huntsman, un siderurgista inglese, miscelò nelle sue fornaci il ferro e la ghisa con delle quantità precise di carbone, riuscendo ad ottenere un ottimo acciaio riproducibile (crucible steel) che aumentò il successo della già avviata metallurgia di Sheffield (Treccani.it). La fabbricazione della ghisa rimase molto limitata fino al XVIII secolo quando Darby, inventò la cokenizzazione del carbon fossile. Quest'invenzione ebbe il duplice vantaggio di aumentare le potenzialità di produzione da una parte e di aumentare il rendimento del ferro prodotto dall'altra.

Fino al XV, ad essere utilizzati erano gli STUCKOFEN, fornaci alte al massimo 5 metri, le quali vennero sostituite proprio in quegli anni dai cosiddetti FOLSSOFEN (un primo prototipo dei moderni altoforni).



Figura 2.1: Stuckofen

Un ulteriore grande passo in avanti fu realizzato con l'introduzione delle macchine a vapore per azionare le soffianti, il che non rendeva necessaria l'ubicazione nelle vicinanze di corsi d'acqua delle aziende siderurgiche. Tale innovazione raddoppiò la potenzialità produttiva e dimezzò il consumo di carbone. Nel 1839, poi, Gibbons apportò ulteriori modifiche introducendo:



- la sezione circolare ed il crogiolo cilindrico;
- la forma conica con svasatura verso l'alto per la sacca e la riduzione della sua pendenza;
- l' aumento del diametro del crogiolo e l'ampliamento della bocca di carico.

Sempre in questi anni si nota come un chimico inglese, Sir Humphry Davy, dopo aver condotto numerose ricerche presso la Royal Society di Londra (una delle società scientifiche inglesi più antiche di cui era anche il presidente), formulò le prime nozioni della teoria elettrochimica basandosi sulle osservazioni dell'azione della corrente elettrica sui composti chimici. In particolare si ricorda l'invenzione « dell'arco che scocca tra due elettrodi di carbonio», grazie alla quale, negli anni successivi, Siemens, industriale inglese di fine '800, «inventò i forni a rigenerazione, che diedero modo di raggiungere le elevate temperature necessarie per la produzione dell'acciaio liquido». Si può affermare che proprio da questi primi esperimenti cominciarono a definirsi i principali tipi di forno che sono poi arrivati fino ai nostri giorni:

- i forni ad arco diretto;

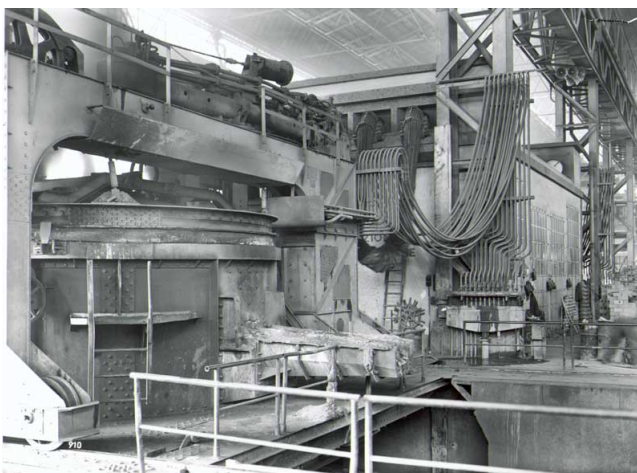


Figura 2.2: Forno ad arco diretto

- i forni ad arco indiretto;



Figura 2.3: Forno ad arco indiretto

- i forni ad induzione.



Figura 2.4: Forno ad induzione

### 2.2.1 Forno ad arco diretto

Il forno ad arco diretto risulta essere il più utilizzato anche in tempi moderni. Esso è utilizzato per il processo di produzione dell'acciaio mediante la fusione del rottame miscelato con il carbone o con la ghisa. Analizzando la sua composizione, nella parte inferiore si nota il «Tino inferiore», una struttura metallica rivestita interamente da refrattari necessaria a contenere sia l'acciaio fuso che le scorie che ne derivano. Questo non è fissato al terreno, bensì appoggiato su una piattaforma che ne permette una diversa inclinazione a seconda dell'operazione che si deve eseguire (ad esempio operazioni di spillaggio e scorifica). Attaccato ad esso, troviamo il «Tino superiore», una sorta di contenitore metallico, detto anche 'gabbia', contenente pannelli raffreddati ad acqua necessari a contenere i materiali che devono poi essere fusi. La «Volta», invece, è il coperchio del forno attraverso il quale passano gli elettrodi. Esso contiene anche un foro per l'aspirazione dei fumi che vengono prodotti durante il processo di fusione. In particolare, quest'ultimo, dato il sempre crescente problema dell'inquinamento che affligge il nostro pianeta, ha man mano aumentato la sua importanza fino a diventare il centro di vere e proprie norme giuridiche. «I forni ad arco sono generalmente di tipo trifase e sono quindi muniti di tre elettrodi di grafite che, come detto, penetrano nel crogiolo attraverso tre fori praticati nella volta e sono disposti secondo i vertici di un triangolo equilatero. L'arco scocca tra l'estremità dei tre elettrodi e la carica metallica, la quale è percorsa dalla corrente. L'energia elettrica viene trasformata in calore per effetto Joule ed il calore trasmesso al resto della carica principalmente per irraggiamento» (APAT, 2003). In questi forni sono usati gli elettrodi di graffite perché sono molto più resistenti all'ossidazione, hanno una buona conducibilità termica ed elettrica oltre ad avere un basso coefficiente di dilatazione termica.

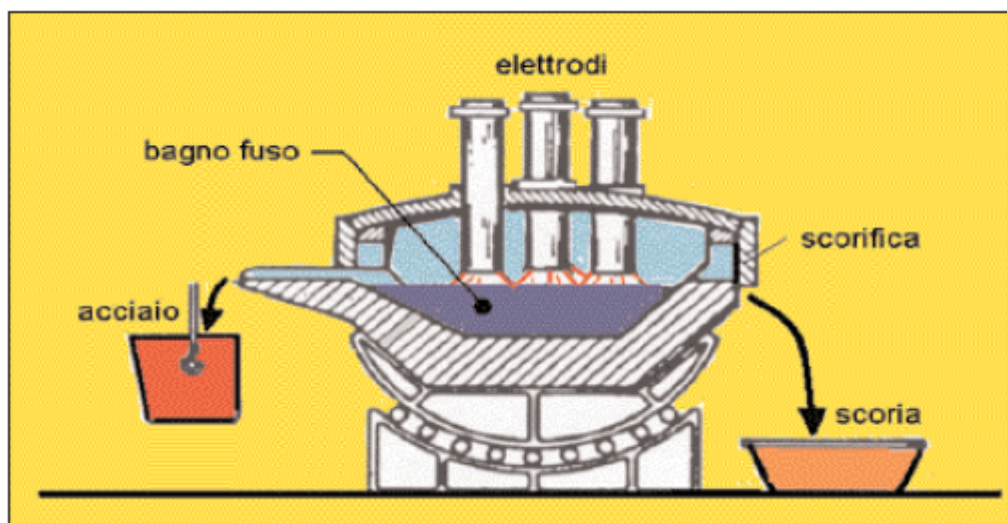


Figura 2.5: Schema forno ad arco diretto

### 2.2.2 Forno ad arco indiretto

Come per il forno ad arco diretto, in quello indiretto, si ha all'incirca lo stesso procedimento con l'arco che scocca tra gli elettrodi (due o tre) orizzontali contrapposti sopra il materiale di carica (realizzando il riscaldamento per irraggiamento). Il forno viene anche qui inizialmente caricato con il materiale da fondere (rottame, ghisa e carbone), introdotto nel crogiolo dalla bocca di carico. Successivamente viene mandata corrente agli elettrodi, in modo che si generi l'arco. Quando tutto il rottame è stato fuso, si procede ad una prima affinazione per poi effettuare la colata dalla bocca del forno. Il forno ad arco indiretto viene anche detto di «Stassano», dal nome del suo ideatore, Stassano appunto, che nel 1898 conduce a Roma, presso le officine di S. Maria dei Cerchi, i primi esperimenti volti ad ottenere acciaio direttamente dai minerali di ferro tramite un piccolo forno a tino munito di due elettrodi e riscaldato ad arco indiretto da 95kW. Tuttavia, questo forno inizia già il suo lento declino nel 1915 in quanto poco adatto a grosse produzioni di acciaio.

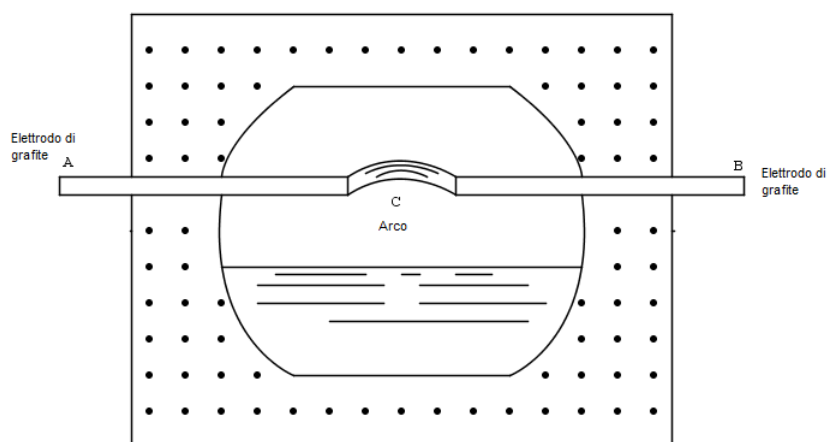


Figura 2.6: Schema forno ad arco indiretto

La principale differenza tra i forni ad arco diretto ed indiretto consiste su come si stabilisce l'arco: nel primo si crea tra gli elettrodi di grafite e la massa metallica da fondere, mentre nei secondi l'arco si stabilisce tra due elettrodi di grafite A e B e il calore viene essenzialmente trasmesso per irradiazione.

### 2.2.3 Forno ad induzione

Il principio di funzionamento di un forno ad induzione è il riscaldamento e la fusione di una massa di metallo tramite effetto Joule di correnti indotte in essa dall'azione di un campo magnetico alternato, generato con un percorso da una corrente alternata di frequenza opportuna. Si fornisce al flusso magnetico una via di minima riluttanza, lungo la quale esso si incanali quasi completamente per far attraversare la massa magnetica secondaria dalla maggior parte del flusso magnetico generato dall'avvolgimento primario, andando così ad evitare che molte delle linee di forza del campo magnetico si chiudano su se stesse senza andare a concatenarsi con il secondario. In un forno di questo tipo per via della presenza del circuito magnetico in ferro una parte rilevante del flusso generato dall'avvolgimento induttore si concatena con il circuito secondario e viceversa e ciò si traduce in un elevato fattore di potenza del complesso.

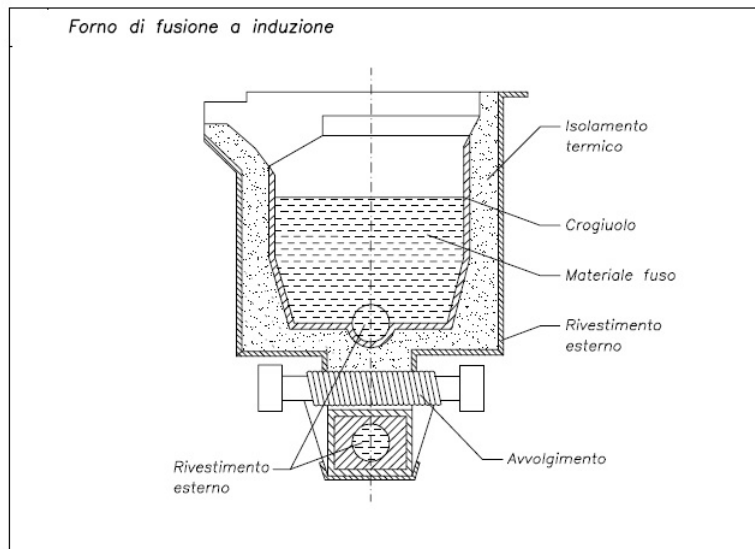


Figura 2.7: Schema forno ad induzione

#### 2.2.4 Acciaieria elettrica

La flessibilità metallurgica ed i bassi costi di investimento necessari hanno ricoperto un ruolo fondamentale nella produzione di acciaio da forno elettrico. Il componente principale utilizzato nell'acciaieria «elettrica» è il rottame di ferro. Questo può essere acquisito sia già spezzettato e pronto ad essere usato, ovviamente con dei costi maggiori, oppure essere acquistato con forme irregolari a prezzi inferiore ed essere trattato direttamente nell'acciaieria tramite un apposito impianto che, con le operazioni di cesoiatura o pressatura, lo «prepara» prima di caricarlo nei forni.



*Parco rottami dell'acciaieria Martin Siemens 3 dello stabilimento siderurgico di Terni (settembre 1948).*

Figura 2.8: Parco rottami

In particolare, queste due operazioni, consentono di tagliare i rottami e di pressarli nella cesta diminuendone il numero complessivo, le dispersioni termiche e le emissioni determinate dall'apertura della volta durante il caricamento. Come detto precedentemente e come si può notare dalla figura sottostante, ogni forno è dotato di un sistema di captazione ed abbattimento fumi e di una presa per l'ossigeno che viene ormai usato in tutte le acciaierie.

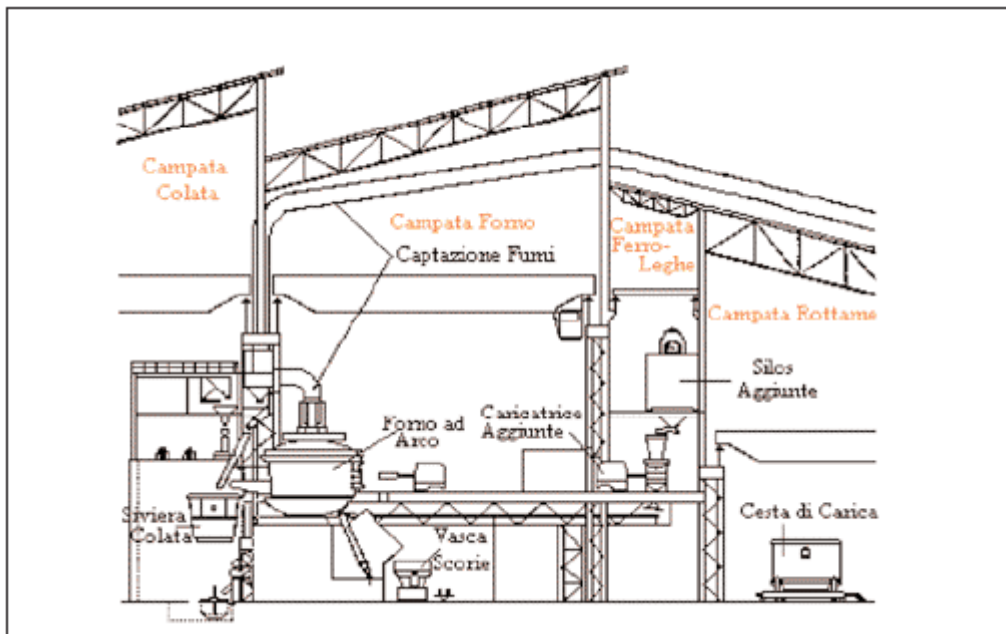


Figura 2.9: Acciaieria elettrica

### 2.2.5 Processo produttivo

Si può dividere il processo produttivo dell'acciaio 'elettrico' in tre fasi principali:

- Il caricamento del forno;
- la fusione del materiale caricato;
- la laminazione.



### 2.2.5.1 Caricamento del forno

Questa fase consiste, come si può facilmente intuire, nel riempire le ceste con il materiale che verrà poi fuso nel forno.

Attualmente, questo processo viene effettuato caricando principalmente una carica solida preriscaldata composta da carbone- rottame, che risulta essere la più economica, anche se quest'ultima potrebbe essere composta anche da ghisa- rottame o da preridotti di ferro. Dato che difficilmente tutta la carica di rottame può essere contenuta nel crogiolo a causa della sua eccessiva voluminosità si procede effettuando diverse cariche in successione a mano a mano che quella precedente completa il processo di fusione fino al completamento del processo. Questo genere di operazioni di carica nei forni a volta mobile richiedono interruzioni di soli pochi minuti, con ridotta dispersione di calore che rende abbastanza facile riprendere la fusione. Tuttavia, per cercare di migliorare questo processo ed evitare la dispersione se pur minima di calore, si è passati ad adottare il processo «Consteel», nel quale i processi di carica, di fusione e di affinamento vengono trasformati in un'operazione continua. Il Consteel prevede un convogliatore aperto nel quale viene caricato il rottame ed un convogliatore a tunnel in cui il rottame viene convogliato in maniera continua verso il forno.

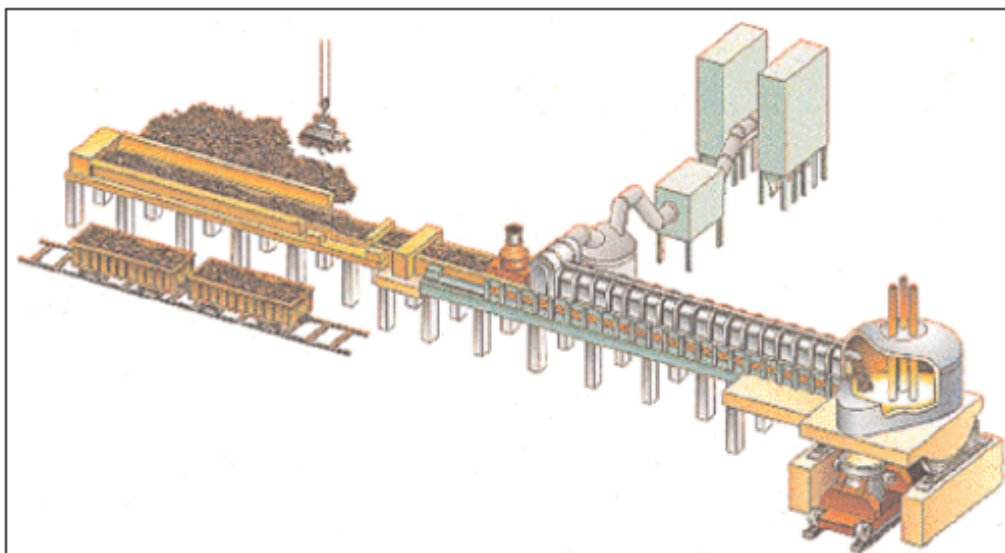


Figura 2.10: Consteel

### 2.2.5.2 Fusione

Rappresenta il momento in cui la carica presente nel forno raggiunge la temperatura di fusione. Questo avviene somministrando energia termica con i seguenti sistemi:

- energia generata dall'arco elettrico degli elettrodi di grafite nel momento in cui chiudono il circuito sul rottame;
- energia generata da bruciatori alimentati da combustibili liquidi e oggi prevalentemente gassosi posizionati generalmente sulla parete del forno;

Una volta portato l'acciaio liquido contenuto nel forno alla temperatura voluta, si passa alla fase di spillaggio, che avviene inclinando il forno dalla parte opposta alla porta di scarifica e versando l'acciaio liquido, attraverso un foro di colata (bussaggio).

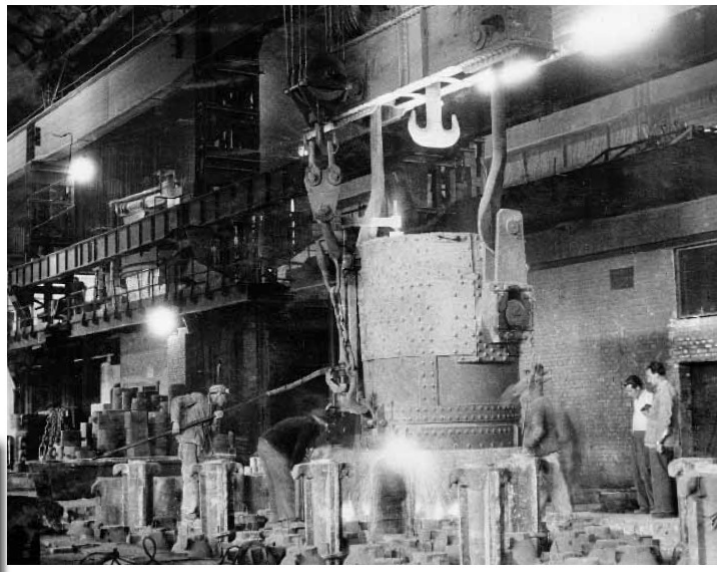


Figura 2.11: Processo di colata

### 2.2.5.3 Laminazione

E' il processo di lavorazione dell'acciaio ormai solidificato che ne permette la trasformazione in prodotto finito. La laminazione può essere effettuata a caldo o a freddo a seconda del prodotto che si vuole ottenere. Il processo a caldo prevede il riscaldamento dell'acciaio a temperature tra i 1000 ed i 1300 °C e la sua successiva deformazione con utensili, generalmente di forma cilindrica, mentre il processo a freddo permette di ottenere una deformazione plastica, senza apporto di calore, e una superficie del metallo più compatta e liscia, utilizzando un laminatoio a cilindri multipli.



*Uscita del lingotto semilavorato dal forno di riscaldamento pronto per essere fucinato.*

*Le due presse del reparto fucinaura.*

Figura 2.12: Un esempio di semilavorati per laminazione

### 2.2.6 Storia siderurgia elettrica italiana

Come già detto in precedenza, la siderurgia elettrica si è sviluppata e affermata molto dopo rispetto quella integrale, la quale raggiunse la sua maturità nella metà dell'ottocento con l'utilizzo del ferro e dell'acciaio, impiegati per la costruzione di ponti, rotaie, mezzi di trasporto e macchinari vari. Dato che queste strutture erano destinate a un precoce invecchiamento e a un rapido avvicendamento, si creò una situazione decisamente favorevole per tutti coloro fossero stati in grado di recuperare e trasformare il rottame nuovamente in ferro. Ciò generava due principali vantaggi :

- l'utilizzo di impianti più semplici e quindi di conseguenza più accessibili sotto il profilo del costo;
- la realizzazione di alte quote di profitto.

Da qui la nascita della figura del 'rottamat', imprenditore che si recava nei depositi di rotaie e macchinari abbandonati e riforniva le industrie siderurgiche con questo materiale. Ciò permise lo sviluppo anche di piccole imprese, reso possibile dal fatto che, per fondere il rottame tramite il forno elettrico, non vi era la caratteristica basilare del ciclo integrale di essere situati in vicinanza dei porti di sbarco del minerale e del carbone. L'elevata efficienza di processo, unitamente alla specializzazione nella produzione, sono stati due dei maggiori fattori che hanno permesso il successo di suddette acciaierie. Tuttavia con il passare del tempo si è passati dapprima ad un rapido ridimensionamento di unità produttive in attività, passando da 346 a 70 forni attivi nel decennio '80- '90 e, successivamente, ad un incremento produttivo degli stessi con l'adozione del processo di colata continua . Sempre in questi anni si assistette al fenomeno soprannominato 'bresciani', piccoli e poi grandi imprenditori che recuperavano rottami, soprattutto nel dopoguerra, e producevano acciaio adatto per la ricostruzione. Secondo alcune fonti storiche, la siderurgia bresciana e le sue mini acciaierie fecero da mentore allo sviluppo «elettrico» in tutto mondo e già nel '74 contava 57 stabilimenti con una capacità produttiva di 6 milioni ton semilavorati in acciaio/ anno e unità produttive di taglia minima e media (fra le 10.000 e le 420.000 t/ anno). Si utilizzavano 98 forni con capacità fra 6 e 70 t

(forno tipico da 25-30 t) con tempi di ciclo di 3-3,5 ore. Inoltre, più del 70% delle unità utilizzava macchine di colata continua (da 2 a 6 linee di colata).

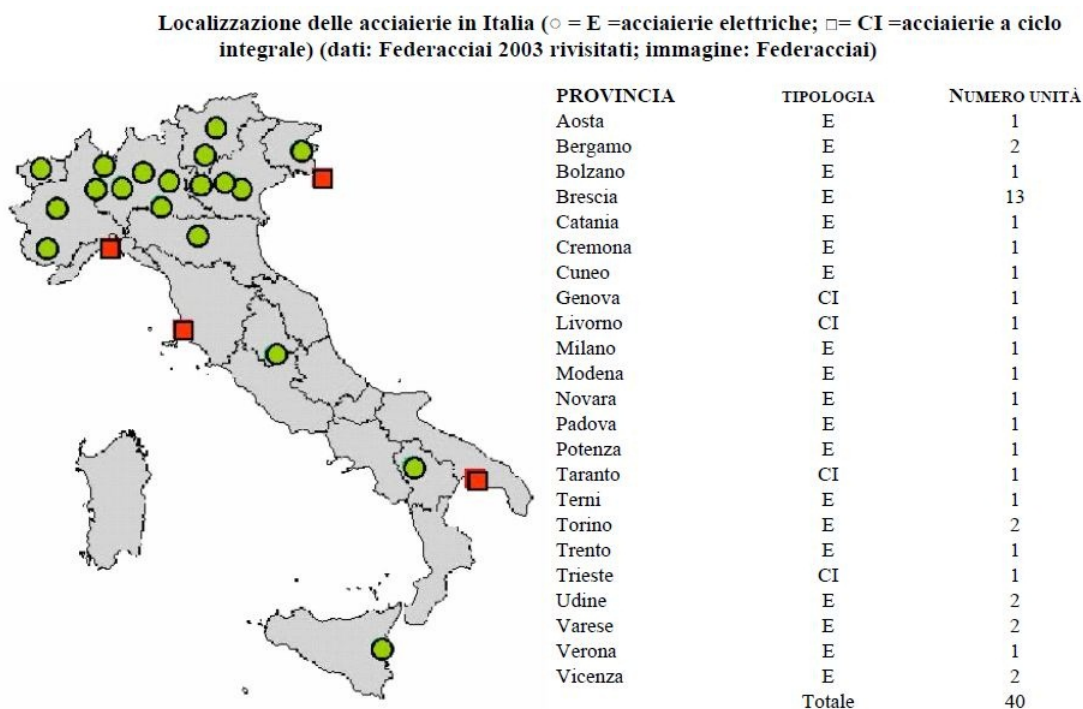
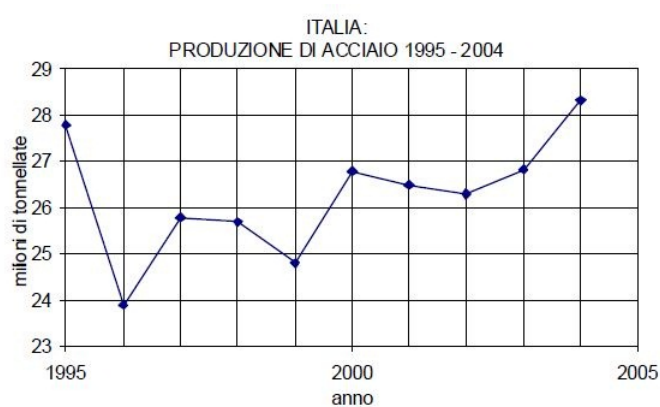


Figura 2.13: Distribuzione acciaierie

L'introduzione delle innovazioni tecnologiche e di processo, unita a una più elevata utilizzazione degli impianti, consentì comunque di raggiungere un incremento della produzione con un terzo dei forni e con metà degli impianti di laminazione. Con l'entrata nell'unione europea dell'Italia, si percepirono poi diversi contributi economici, che a una parte finanziavano lo smantellamento della capacità produttiva (condizione necessaria per ricevere il finanziamento) e dall'altra si potenziavano gli impianti non smantellati rendendoli altamente efficienti. Secondo alcuni report, «la crisi in atto in quegli anni non era una crisi di consumo, bensì di redditività». Si evince da tali report come gli impianti venivano utilizzati al di sotto della soglia minima necessaria a ripagare i costi di ammortamento degli investimenti effettuati e i costi di produzione, cercando di porvi rimedio concentrando la produzione nei periodi estivi, notturni e festivi (dove il costo dell'energia elettrica era notevolmente più basso). Inoltre, così facendo, si costringevano gli operai ad una flessibilità del lavoro caratterizzata dalla sospensione dell'attività nel

periodo invernale e dall'estensione del lavoro a 11 turni notturni e festivi. La siderurgia elettrica, fu quindi costretta ad aggiornarsi per rimanere tecnologicamente competitiva, ma allo stesso tempo condannata a produrre sotto la potenzialità che acquisisce. Sotto il profilo finanziario economico, come si può leggere dai dati forniti dalla feder acciai nel 2003, il 63% della produzione totale di acciaio (16,9 milioni di tonnellate) era realizzata attraverso il ciclo da forno elettrico, mentre i restanti 9,9 milioni di tonnellate attraverso il ciclo integrale. Il fabbisogno di acquisto rottame delle acciaierie a forno elettrico si aggira intorno ai 14 milioni di tonnellate.



Bilancio acciaio in Italia (000 t) (dati: Federacciai)

	2000	2001	2002	2003
Produzione	26.8	26.5	26.3	26.8
Importazioni	18.9	19.6	18.5	19.5
Esportazioni	13.3	13.9	12.8	12.8
Consumo apparente	32.4	32.2	32.0	33.5

Figura 2.14: Dati produzione acciaio e Bilancio Italia (Federacciai)

## 2.3 Spiegazione del modello

Nel processo di produzione dell'acciaio mediante forno elettrico, si nota come l'acquisizione del rottame ricopra un ruolo fondamentale. Nella realtà, esistono diversi modi mediante i quali questo può essere reperito. Nella simulazione seguente, si è scelto di acquistare il rottame già spezzettato e pronto ad essere utilizzato. Dato che a differenza dell'altoforno, il forno elettrico può essere spento, il flusso di acquisizione del rottame ( APAT, 2003) sarà caratterizzato sia dalla quantità di rottame necessaria, sia dal numero di forni ( NumForni) e della loro capacità (CapConvertitore), che dal magazzino (Mag) e dalla quantità dei prodotti finiti rimasti invenduti (PezziInvenduti). Nel caso in cui, il numero dei prodotti finiti invenduti risulti maggiore della capacità del magazzino a disposizione dell'azienda, il ciclo produttivo verrà momentaneamente bloccato allo scopo di non avere troppi semilavorati invenduti in magazzino. Questo riprenderà solo quando la domanda di mercato tornerà a crescere, in modo da limitare i costi di produzione. Una volta acquisito il rottame, questo verrà miscelato nei convertitori insieme al carbone ( il cui flusso di acquisizione è simile a quello del rottame) per la produzione di acciaio liquido. Il processo di fusione ha la durata di un ora circa (Balconi, 1991). Si nota come questo flusso sia influenzato anche dal numero di forni attivi, che a sua volta è influenzato dallo stock dei forni posseduti dall'azienda e dalla Variabile PerProd che analizzeremo più avanti. Si è ipotizzato tramite un apposita condizione posta nel flusso AcqForni, che nel momento in cui l'azienda abbia una produttività oltre il 90% e anche la richiesta di prodotti sul mercato sia oltre il 90%, l'azienda potrebbe decidere di fare un investimento e quindi comprare un nuovo forno per aumentare la propria capacità produttiva. In particolare nella modellazione proposta si suppone che tutti i forni siano posseduti da un'azienda presso un unico stabilimento. Non si è tenuto conto del fatto che le grandi acciaierie, come ad esempio la Beltrame, non si compongono di un unico stabilimento ma di più comparti minori, ognuno dei quali con un forno ed un proprio processo produttivo che rimane comunque coerente con la modellazione proposta.

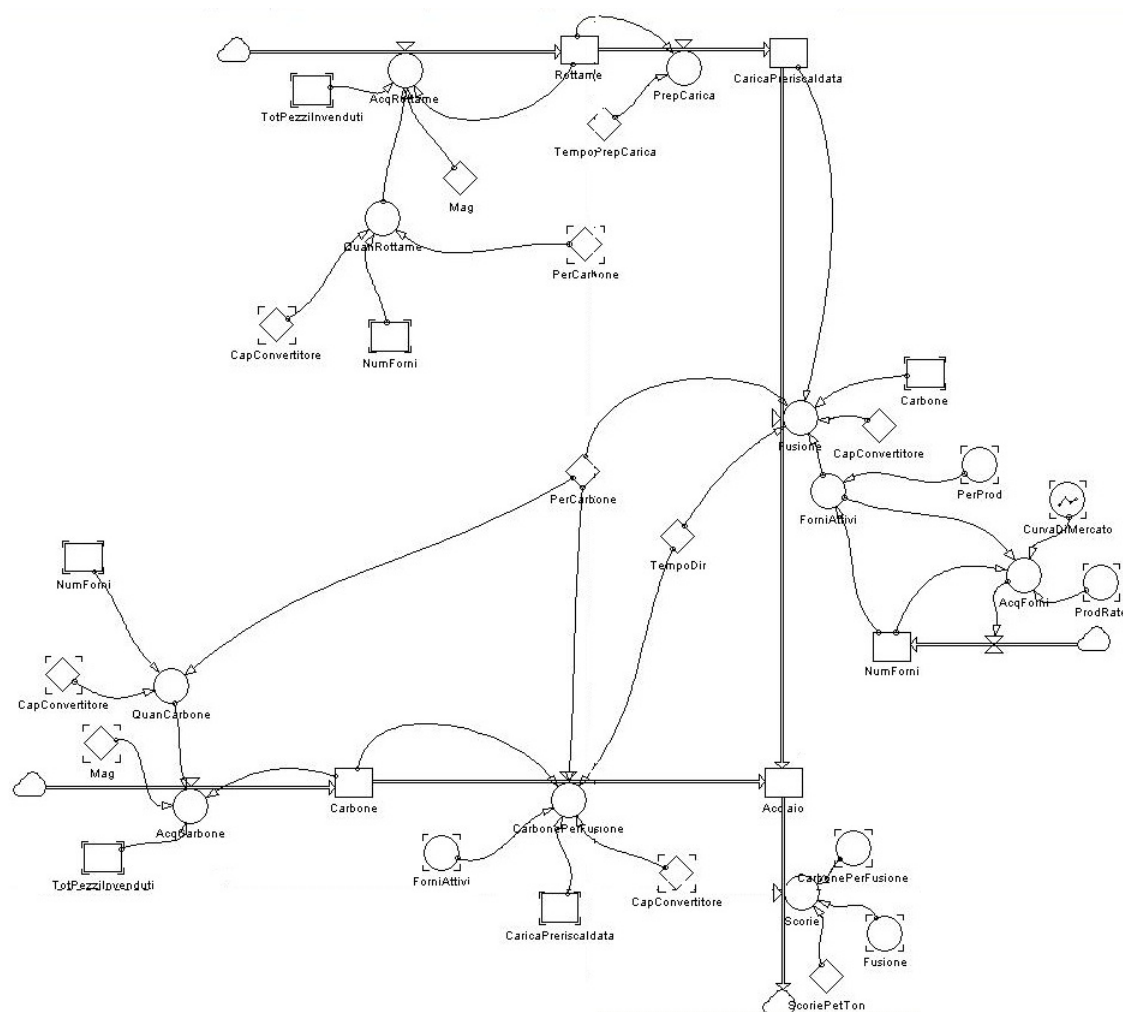


Figura 2.15: Acquisizione Rottame/ Carbone e processo fusione

Nello specifico, la variabile «PerProd» (figura 2.16), composta dal rapporto  $\langle \frac{Dipendenti}{DipDesiderati} \rangle$ , restituisce il grado di utilizzo dell'impianto. Dal report annuale 2010 della Beltrame, si è ricavata la produttività media di acciaio per dipendente che si attesta sul valore di circa 3 t/gg (3 mmt annua/ 2600 dipendenti). Questo valore è stato poi impostato come produzione di acciaio giornaliera desiderata di per dipendente (DesProdGiornAccDip). La variabile «ProdDes», invece, rappresenta la produzione massima di acciaio giornaliera dell'impianto influenzata dal numero di convertitori e della loro capacità. La variabile «DipDesiderati» ( $\frac{ProdDes}{DesProdGiornAccDip}$ ) rappresenta il numero di dipendenti necessari affinché l'impianto produca a pieno regime. A questo punto appare chiaro il perché il numero



di forni attivi sia influenzato dalla variabile «PerProd». Infatti, nel caso specifico in cui l'azienda non disponga di almeno il 60% di dipendenti necessari, il processo di fusione verrà interrotto per la mancanza di personale.

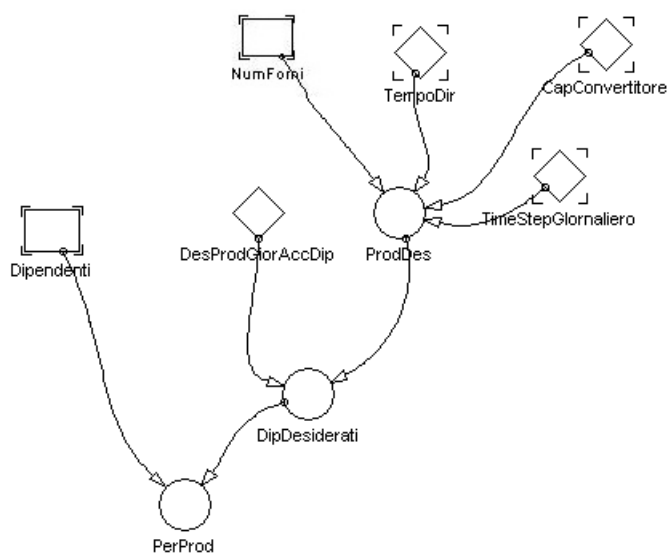


Figura 2.16: PerProd

Una volta ottenuto l'acciaio liquido questo viene colato nelle siviere per la sua lavorazione. Anche questo flusso presenta gli stessi controlli di quello precedentemente descritto con le uniche differenze dalla capacità dei convertitori (45 t) e dal fatto che il loro numero è sempre il doppio dei convertitori utilizzati per la produzione dell'acciaio (questo per garantire una migliore efficienza di tutto il processo produttivo). Il tempo di completamento del processo di lavorazione nella siviera è di 45 min (Antonio Mattoni, presentazione) ed il flusso in uscita dallo stock dell'acciaio liquido «scorie», che non va quindi ad essere lavorato nei convertitori, rappresenta la quantità di scarti del processo che si attesta sul 10%.

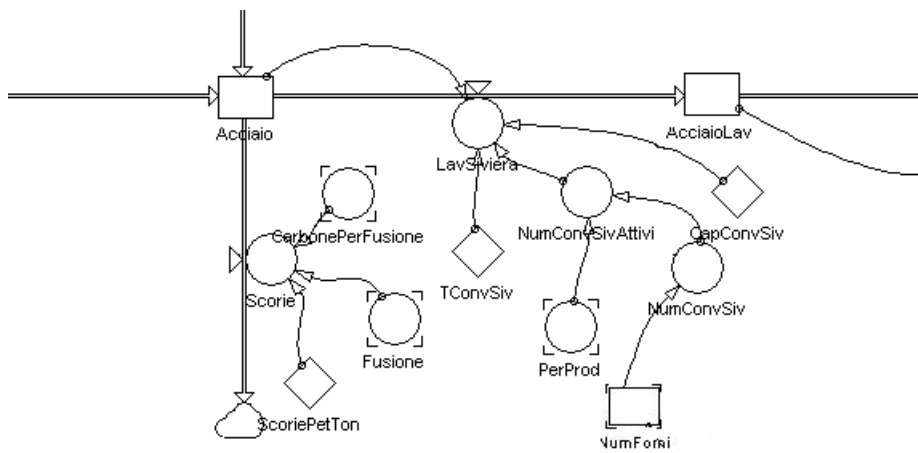


Figura 2.17: Siviera

Una volta completato il processo di raffreddamento si otterranno le bramme, le quali saranno destinate per il 30 % alla laminazione delle lamiere da taglio e per il restante 70% alla laminazione a caldo. Successivamente il 20% ( PercLamierLav) delle lamiere da taglio ottenute viene poi destinato alla realizzazione dei tubi, mentre la quantità restante sarà destinata alla lavorazione per la vendita delle stesse. Le percentuali di destinazione sono state ricavate dal report della Tata Steel in quanto per la lavorazione successiva all'ottenimento dell'acciaio liquido il procedimento risulta essere abbastanza simile sia che questo sia ottenuto dall'altoforno sia che sia ottenuto da forno elettrico.

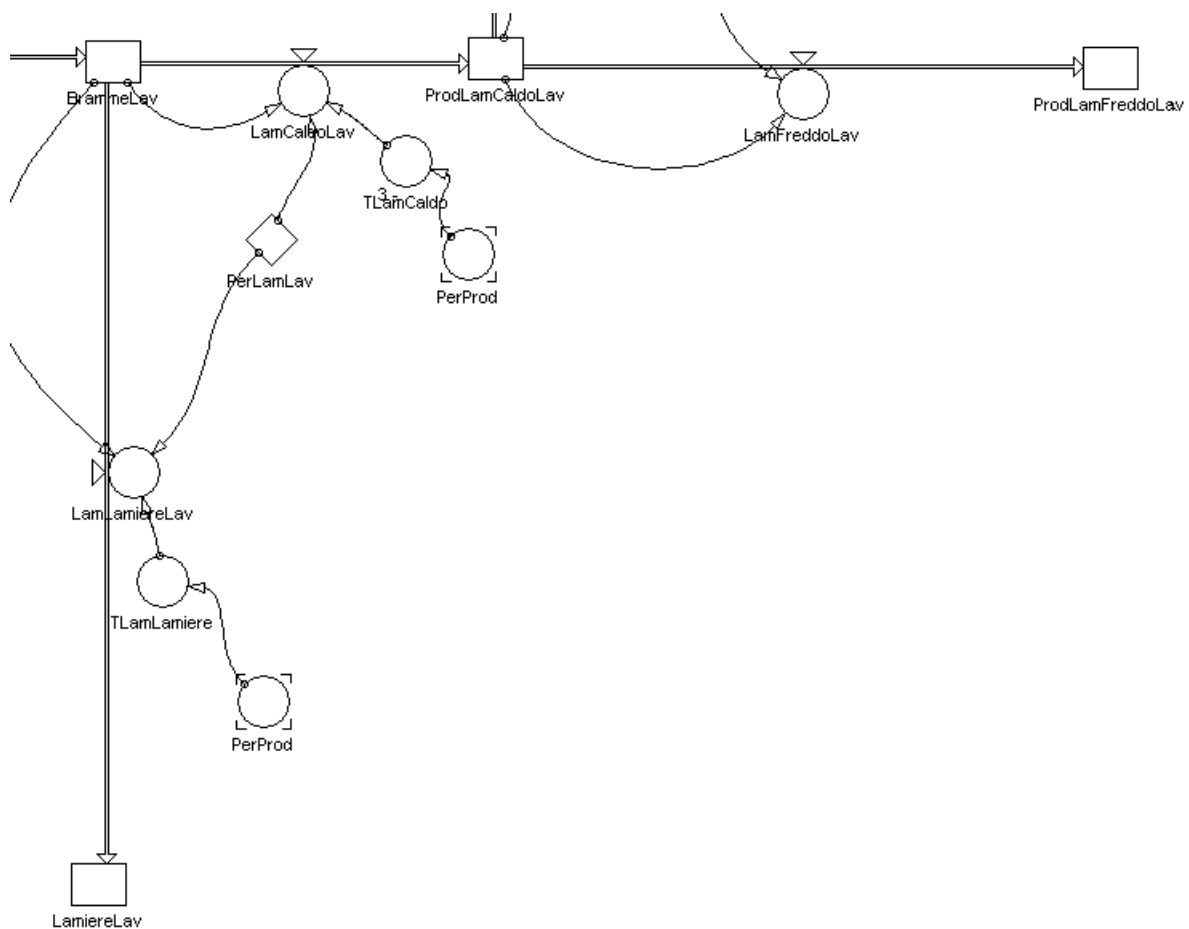


Figura 2.18: Laminazione a caldo e a freddo

Nella realizzazione del modello, per la vendita di tutti i semilavorati prodotti, si è deciso di creare una «domanda» di suddetti semilavorati nel mercato e rappresentata dalla variabile «CurvaDiMercato». Dato che il TimeStep del modello è tarato sul quarto d'ora, si è effettuata la conversione nella variabile Mese composta dall'equazione  $\text{Tempo}/\text{unità Mensile}$ , dove  $\text{UnitàMensile}$  è il numero di time step (15 min) che si avranno in un mese. Si deve inoltre sottolineare, come all'interno della curva di mercato siano presenti valori che vanno da 0 a 1, che rappresentano la percentuale di vendita di prodotti finiti che va quindi dallo 0% al 100% del totale dei prodotti finiti prodotti. In questo modo nella variabile  $\text{VenditaTimeStep} \left( \frac{\text{CurvaDiMercato} * \text{ProduzioneMassimaMensile}}{\text{UnitàMensile}} \right)$ , avremmo la quantità di prodotto finito (VenditaLLF Figura 3.7) richiesto sul mercato in ogni «TimeStep». Infatti la 'ProduzioneMassimaMensile' si ottiene moltiplicando il numero dei dipendenti

necessari ad avere la massima produzione 'DipDesiderati' con la loro produttività giornaliera 'DesProdGiorAccDip' (naturalmente dato che stiamo parlando di dati mensili il risultato sarà moltiplicato per 30, avendo così la produzione massima mensile dell'impianto). Discorso analogo verrà fatto per la vendita dei Tubi (Vendita TL Figura 3.7). Le variabili rappresentate da «PerVendite+nomeProdottofinale» (come ad esempio PerVenditeLLF o PerVenditeTL) sono percentuali di vendita dei singoli Prodotti ricavate sul totale dei prodotti finiti venduti che si è scelto di adottare per evitare che alcuni stock si riempiano in maniera esagerata rispetto ad altri.

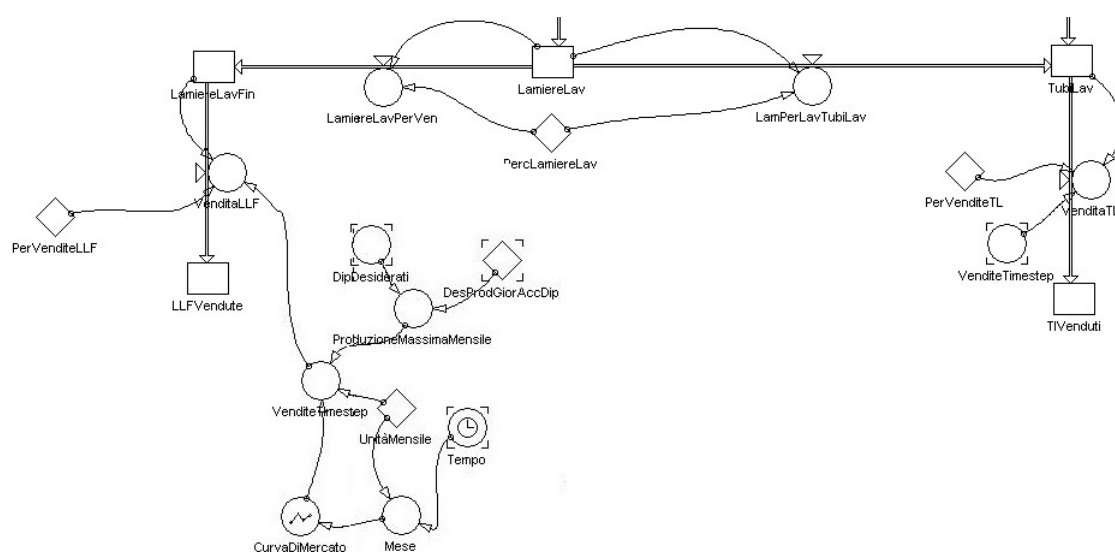


Figura 2.19: Lamiera Finali e Tubi

Il processo descritto precedentemente della lavorazione a caldo è destinato per il 40% alla realizzazione di semilavorati di acciaio mentre per il restante 60% alla lavorazione a freddo. Da questa lavorazione si procederà al rivestimento del materiale così da ottenere lo stock dell'acciaio rivestito che verrà destinato al 50% alle lamiere da taglio lavorate (LamieraDaTaglioLav) e per il restante 50% alla realizzazione dei Nastri (NastriLav). Quest'ultimi in particolare, saranno destinati per il 20% alla realizzazione dei tubi (Figura3.7) e per il restante 80% alla lavorazione per la vendita.

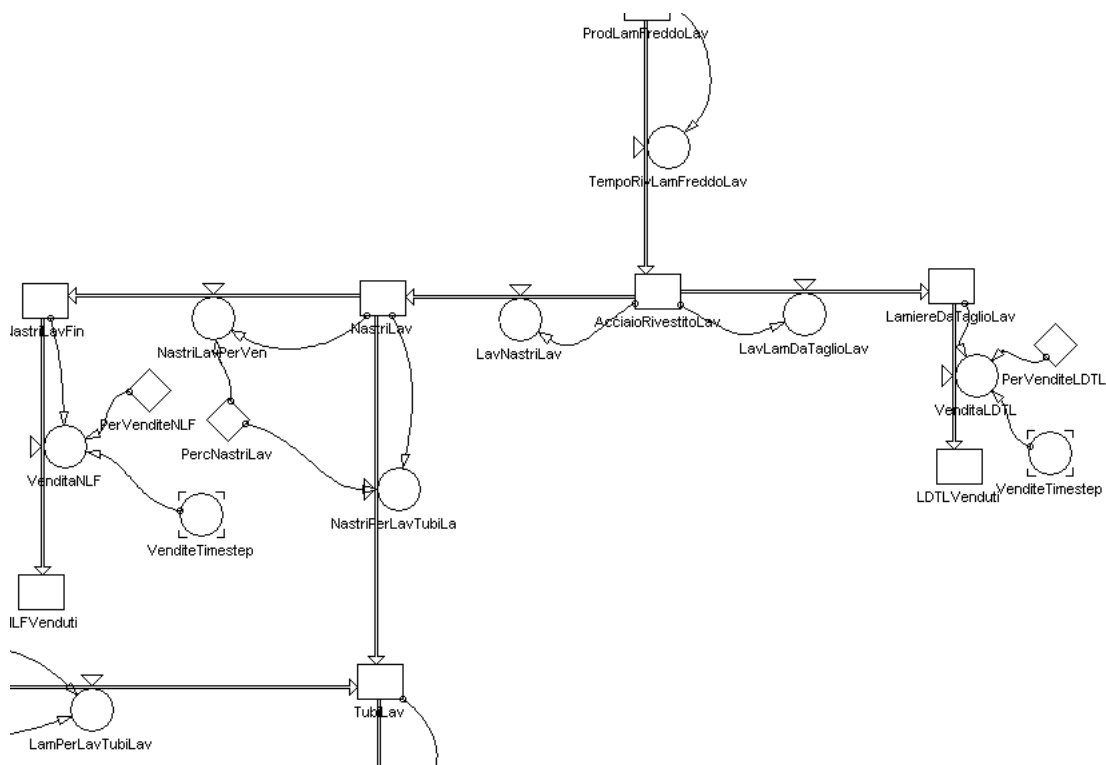


Figura 2.20: Lamiere Lavorate e Nastri

La parte di materiale ottenuto dalla lavorazione a caldo e destinata alla realizzazione dei semilavorati, seguirà poi lo stesso iter operativo descritto per tutti gli altri prodotti finali.

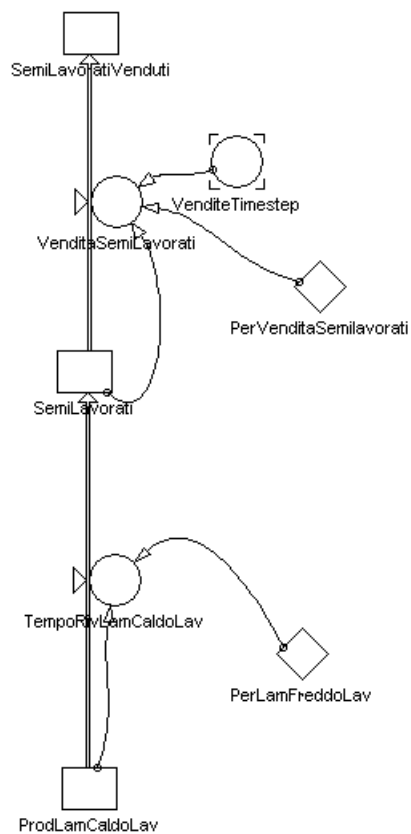


Figura 2.21: Semilavorati

Per avere un'idea dei pezzi totali prodotti, di quelli venduti e di quelli immagazzinati, si è deciso di creare i seguenti tre stock:

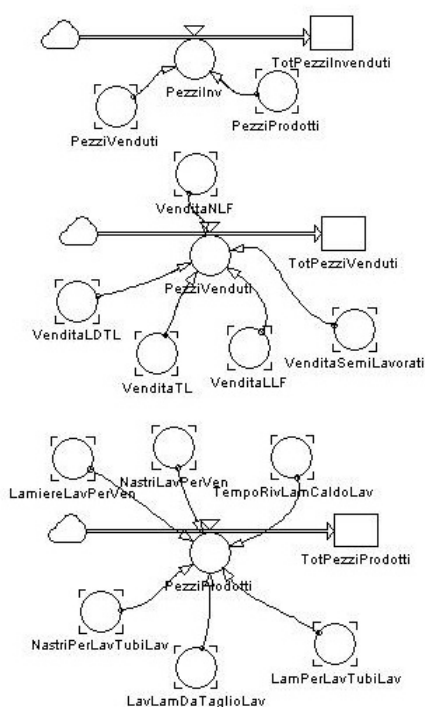


Figura 2.22: Stock semilavorati Prodotti, Venduti e Immagazzinati

Esaminiamo ora nel dettaglio la parte relativa alla produzione giornaliera di acciaio. Per avere un'idea della quantità d'acciaio prodotto abbiamo incanalato nello stock «AcciaioProdotto» i flussi di ghisa (GhPerRiduzione) e rottame (RotPerriduzione) in modo da poterlo confrontare con quelli messi a disposizione dal report annuale della Beltrame per testare la robustezza del modello. Lo stock dei dipendenti invece ha un flusso in entrata «AssDip» che determina le assunzioni di personale nel caso questo non sia sufficiente a portare avanti in maniera soddisfacente il ciclo produttivo. Questo rate è influenzato sia dai dipendenti che farebbero funzionare in maniera ottimale l'impianto (DipDesiderati) sia dal tempo necessario ad assumerli. Dato che è improbabile che un'azienda assuma ogni giorno del personale e tanto meno che lo faccia ogni time step, abbiamo ipotizzato un'assunzione di 300 persone al mese nel caso in cui fosse necessario assumere e nel caso specifico in cui  $PerProd < 0,5$  e la richiesta sul mercato superi il 90%, questa assumerà personale più velocemente in modo da iniziare prima la produzione. Stesso discorso ma inverso è stato adottato per la diminuzione del personale (Lic\_Pens). Gli stock dell'acciaio prodotto e dei dipendenti, determinano la produzio-

ne di acciaio giornaliera effettiva ( $ProdAccGiorn$ ) così da poter essere confrontata con quella ideale ( $ProdDes$ ). Dal rapporto di quest'ultime due variabili si ottiene il grado di produzione dell'impianto ( $ProdRate = \frac{ProdDes}{ProdaccGiorn}$ ). Se tale valore è uguale a uno, l'impianto sta producendo al massimo delle sue possibilità.

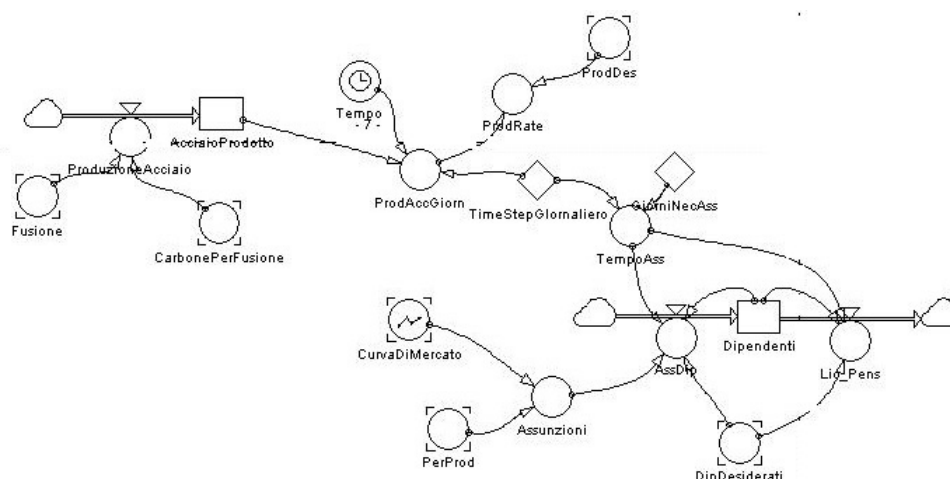


Figura 2.23: Produzione acciaio giornaliera

A questo punto, terminata la descrizione del processo produttivo, passiamo ad esaminare la parte economica del modello osservando le variazioni del reddito.

Il flusso in entrata relativo ai ricavi è dato dal flusso di cassa relativo alla vendita di tutti i prodotti finiti venduti mentre quello in uscita delle spese è dato dal costo relativo all'acquisto del carbone e del rottame, dal costo dei dipendenti e dal pagamento della rata degli impianti relativa all'anno di riferimento e ai costi relativi al magazzino. I prezzi di vendita e di acquisto delle materie prime sono stati stabiliti realizzando per ognuno di essi delle curve di mercato. Per il carbone ed il rottame sono stati utilizzati i dati relativi all'andamento del prezzo nel periodo 01/2011- 01/2012 di entrambi (come è possibile vedere nella Figura 2.24), mentre il costo dei dipendenti è stato stabilito si attesti sui 2800 euro lordi, ricavati dal report della Beltrame (Dipendenti assunti = 2600, costo dipendendi a bilancio = 89.302.954 Stipendio per dipendente =  $(89.302.954 / 2600) / 12 = 2862,27$  )





Figura 2.24: Andamento prezzi Carbone- Rottame

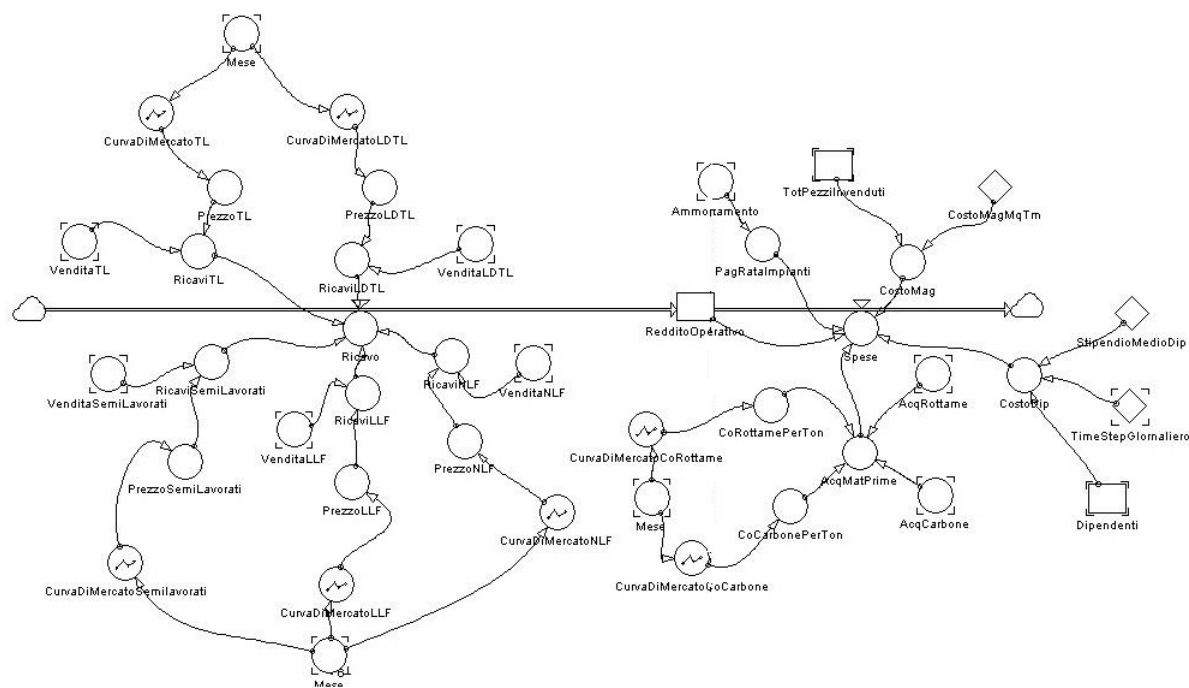


Figura 2.25: Reddito

Per comodità dell'utente che visionerà il modello, si è anche deciso di mostrare come viene calcolato l'ammortamento e il totale delle entrate e delle uscite, dividendo quest'ultime per le voci che la compongono affinché potessero essere confrontate nello specifico con aziende operanti nel settore e rendere il lavoro il più veritiero possibile.

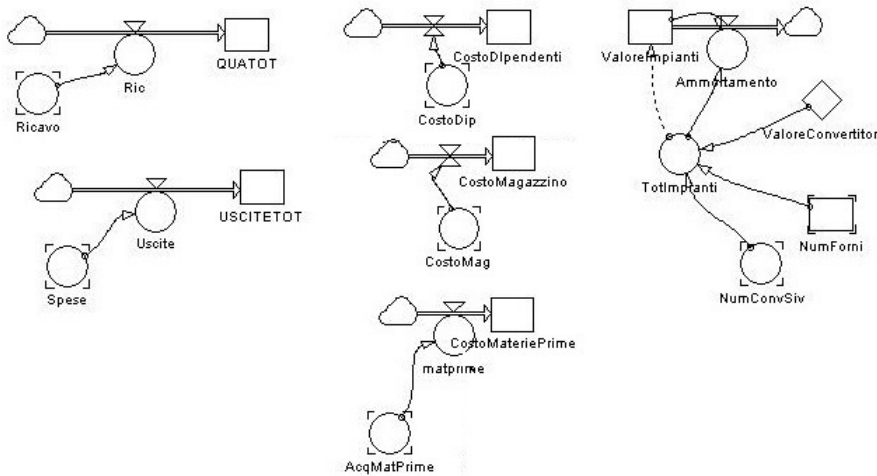


Figura 2.26: Amm.to + Entrate/ Uscite

## 2.4 Simulazione in equilibrio

Dopo aver descritto il modello nella sua complessità, diamo ora alcuni esempi di come esso funzioni. Per testarne la robustezza si è deciso di effettuare una prima simulazione 'in equilibrio' inserendo i dati di produzione di un'azienda operante nel settore: la «Beltrame».

Dal conto economico consolidato di tale azienda (anno 2010) è emerso un valore di produzione di 1.115.823.734 di euro, intesi come ricavo di vendita dei propri prodotti, a cui poi sottrarremo i costi del personale per 89.302.954 ed il costo per l'acquisto delle materie prime pari a 732.718.412, al fine di ottenere un reddito operativo di circa 300 milioni di euro. A questo punto, sapendo che l'azienda possiede circa 2600 dipendenti e produce circa 3.000.000 t/a (tonnellate annuali) di acciaio, si può ricavare che ogni operaio avrà una produttività giornaliera di 3 tonnellate di acciaio. Si imposta quest'ultimo valore nella variabile 'DesProdGiornAccDip'. Sempre utilizzando il totale delle tonnellate di acciaio prodotto dalla Beltrame, si ricava il numero di forni posseduti dall'azienda (capacità di un forno elettrico = 70t, 24 colate/gg, produzione annuale di 1 forno = circa 600.000t). Si imposta anche il numero dei forni con il valore ottenuto e si passa ad avviare la simulazione.

Data la seguente curva di mercato relativa alle vendite, calcolata sapendo che le rimanenze di magazzino dell'anno 2010 rappresentano circa il 35% della produzione e le

curve relative all'andamento dei prezzi precedentemente citate

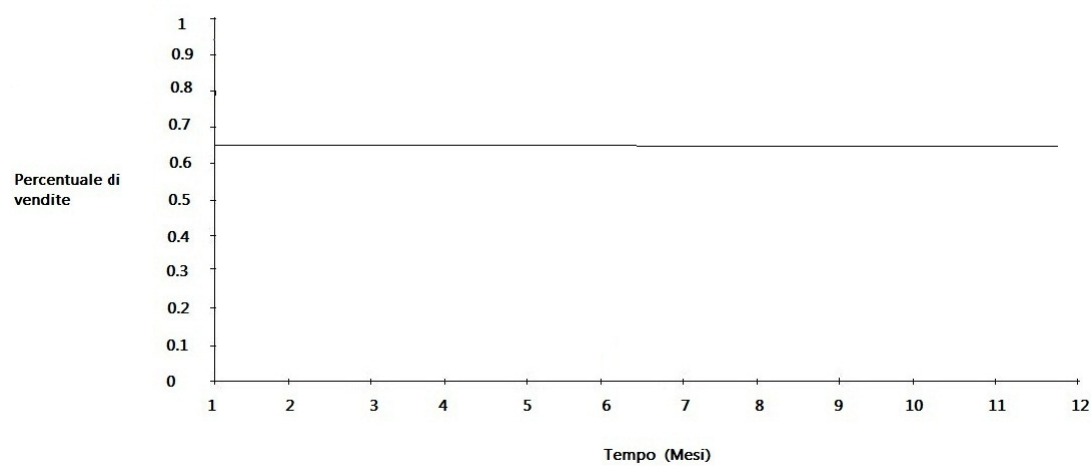


Figura 2.27: Curva di mercato in equilibrio

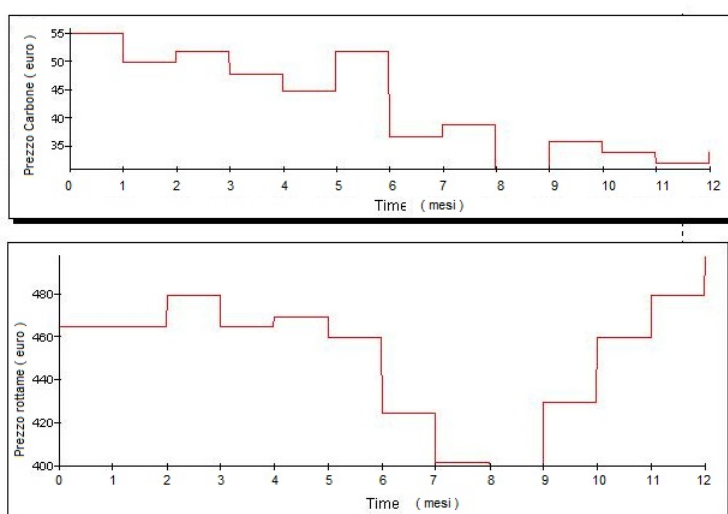


Figura 2.28: Curve andamento prezzo Rottame/ Carbone in equilibrio

Otteniamo i seguenti risultati:

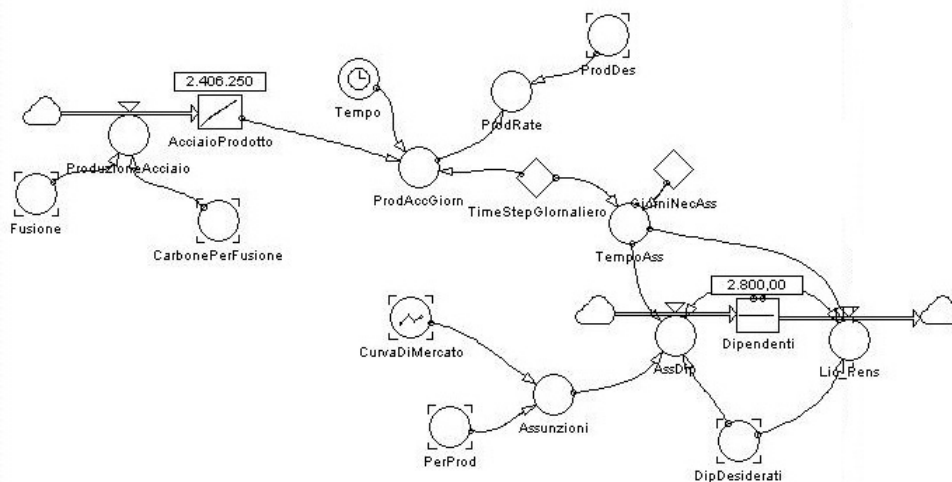


Figura 2.29: Acciaio prodotto e Dipendenti in equilibrio

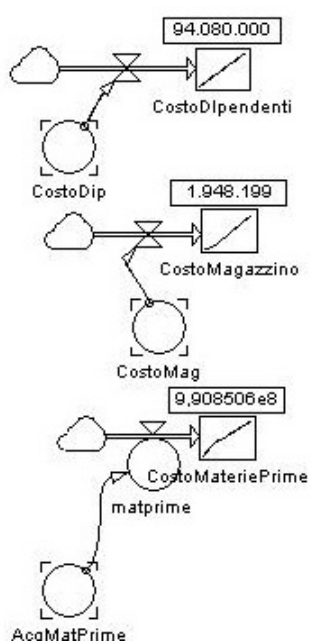


Figura 2.30: Costi in equilibrio

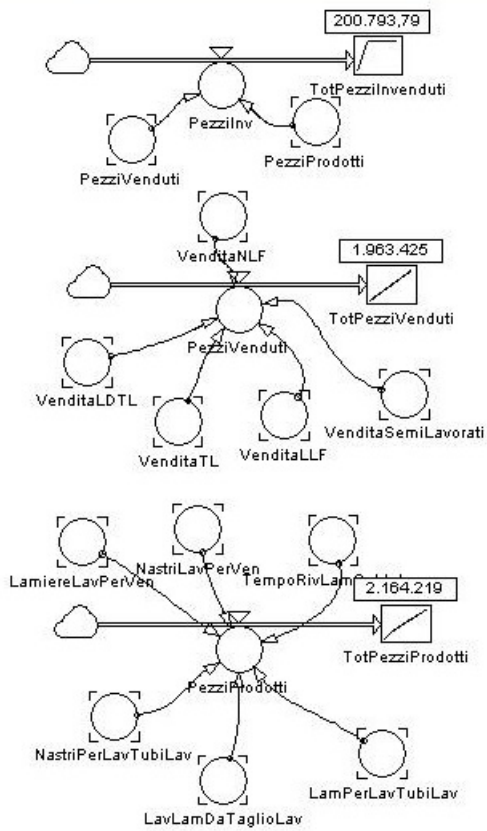


Figura 2.31: Pezzi invenduti/ Pezzi venduti

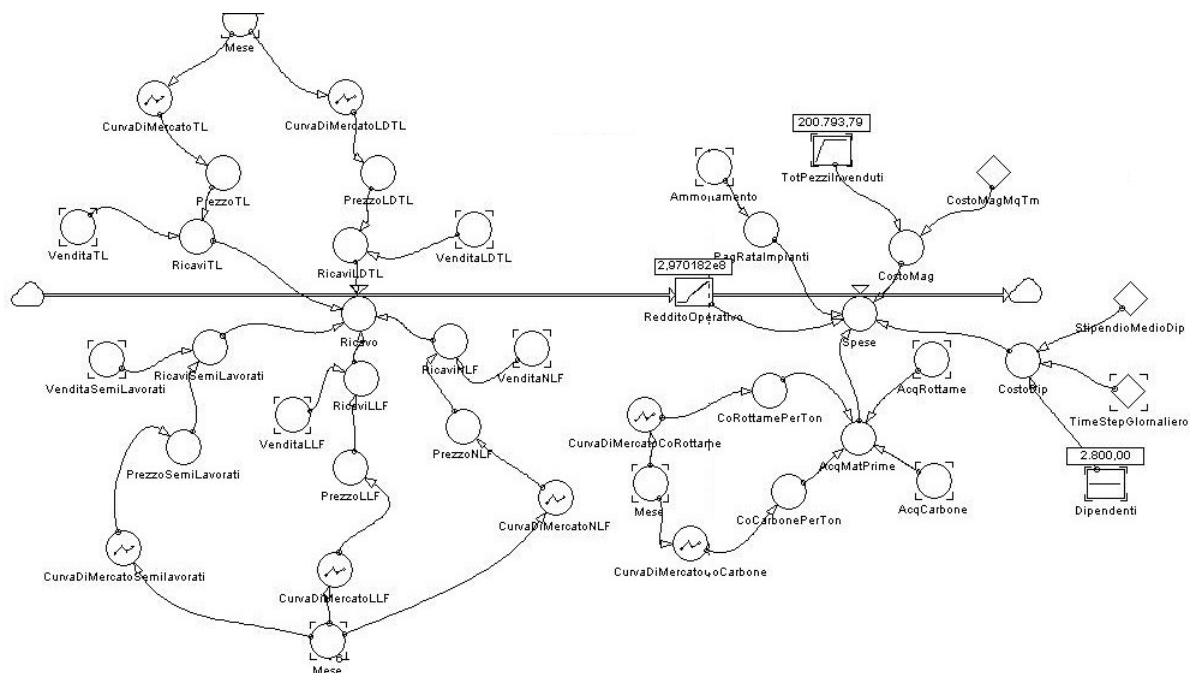


Figura 2.32: Reddito in equilibrio

Si nota quindi che il modello rispecchia pienamente l'andamento della 'Beltrame'. Infatti con 5 forni elettrici e 2800 dipendenti effettuiamo una produzione annuale di 2.405.250 t di acciaio ( produzione annuale Beltrame circa 3 milioni di tonnellate di acciaio). Anche a livello economico il modello supera il test di robustezza, in quanto il reddito operativo ottenuto dalla simulazione vediamo si attesta sui 297 milioni euro ( $2,970182e8 = 297$  milioni di euro circa a cui vanno sottratti i 10 milioni iniziali) così come quello risultante dal conto economico dell'azienda esaminata (R.O. Beltrame = 300 milioni di euro circa). La piccola discrepanza può essere considerata trascurabile e giustificabile con i seguenti motivi:

- Dato che il report non indica la quantità dei singoli pezzi venduti, è possibile che la Beltrame abbia venduto maggiormente quel semilavorato che costa meno rispetto al nostro modello;
- Dato che il report di riferimento è del 2010, e il nostro modello si basa su prezzi di vendita dell'anno 2011, è possibile che nel seguente anno ci sia stato un aumento dei prezzi medi di vendita;

- Dato che dal report si può solo supporre una curva di mercato riguardante le vendite che si aggira sul 65 % dei pezzi prodotti, è possibile che l'oscillazione dei prezzi di vendita avuta ad esempio per due trimestri, unita alla vendita di quel semilavorato avente costo minore, possa giustificare tale discrepanza (ciò verrà mostrato con delle simulazioni al capitolo successivo).

Il dato relativo alla spesa dell'acquisto delle materie prime si giustifica nei seguenti modi:

- In genere le aziende comprano le materie prime in gran quantità, ottenendo degli sconti su di esse.
- Nel report della Beltrame non è specificato il tipo di rottame che viene acquistato dall'azienda, con la possibilità che essa lo acquisti «non trattato» ad un prezzo inferiore rispetto a quello considerato nella simulazione, in cui si prende in esame del rottame già trattato e pronto ad essere utilizzato;
- Non si tiene conto del fatto che la Beltrame è un'azienda già avviata e nel periodo di riferimento potrebbe utilizzare del rottame già comprato in un periodo precedente e che quindi non risulterebbe come costo nel report attuale .

La tabella seguente riassume bene il confronto tra la Beltrame e l'azienda simulata dal modello:

Otteniamo i seguenti risultati:

	<b>Modello</b>	<b>Gruppo <u>Beltrame</u></b>
<b>N° Forni</b>	5	5
<b>Costo Dipendenti</b>	94 milioni	90 milioni
<b>N° Dipendenti</b>	2800	2600
<b>Costo Materie Prime</b>	990 milioni	735 milioni
<b>Acciaio prodotto</b>	Circa 2,5 milioni	Circa 3 milioni
<b>Rimanenze di magazzino</b>	200.000 unità	170.000 unità
<b><u>Reddito Operativo</u></b>	287 milioni	300 milioni

Figura 2.33: Tabella Riassuntiva

Visualizzabili anche in maniera grafica come segue:

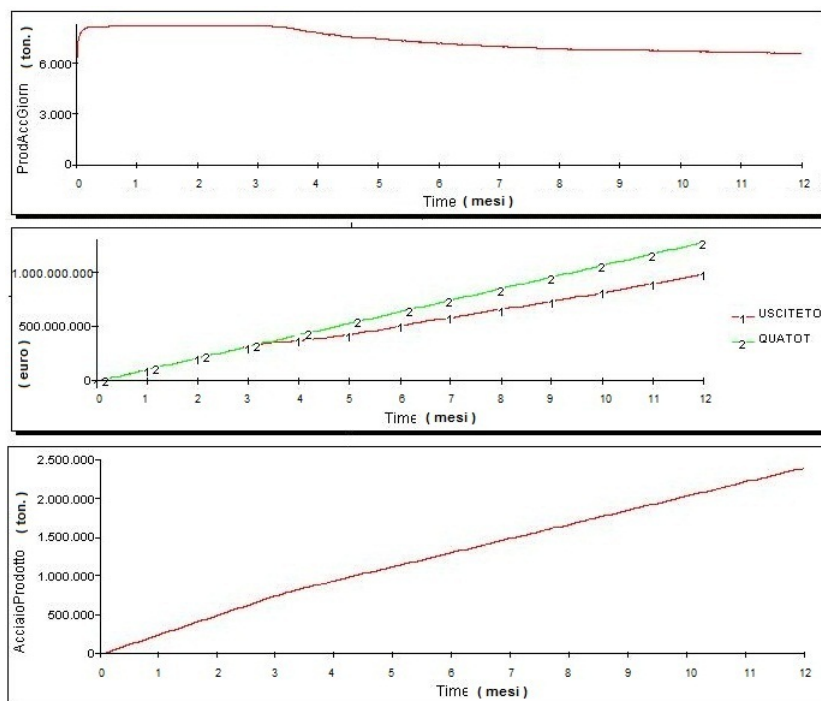


Figura 2.34: Grafici modello simulato in equilibrio 1/2

I dati mostrati nei grafici mostrano l'evoluzione dell'azienda simulata e non mostrano alcun confronto con quelli della Beltrame. Questo perché di tale azienda, si hanno solo i dati complessivi, ricavati dal report annuale, e non il come questi si siano evoluti nel periodo di riferimento.

E' importante sottolineare, inoltre, la relazione che intercorre tra il magazzino ed il reddito operativo. Nei grafici sottostanti si nota come in una situazione di equilibrio con una curva di mercato, che rappresenta la percentuale dei prodotti venduti rispetto a quelli prodotti, costante (65%), non appena il magazzino raggiunge le 200.000 unità, il reddito operativo inizia a salire. Questo perché, l'azienda non spenderà più per acquistare le materie prime ( il cui costo incide particolarmente sul reddito operativo; inoltre risulterebbe inutile dato che si spenderebbe per produrre qualcosa che in quel dato momento non è richiesto sul mercato), ma smaltirà prima le scorte che ha in magazzino, abbassando di conseguenza i costi di gestione ( nel primo grafico si nota come il picco iniziale sull'acquisto delle materie prime, raggiunga una sorta di allineamento



dopo il terzo mese, momento in cui il magazzino si satura e la produzione giornaliera diminuisce; inoltre bisogna sottolineare come gli stock iniziali siano tutti impostati a 0, il che vuol dire che l'azienda per iniziare la sua attività dovrà per forza conseguire l'acquisto delle materie prime). Anche la produzione di acciaio giornaliera si abbasserà di conseguenza. La crescita del reddito, una volta che il magazzino sarà saturo, risulterà costante e tendente all'infinito. Questo perché il grafico che si osserva si basa sugli stock, che, come spiegato nel primo capitolo, sono dei «contenitori di accumulazione» e non sui flussi.

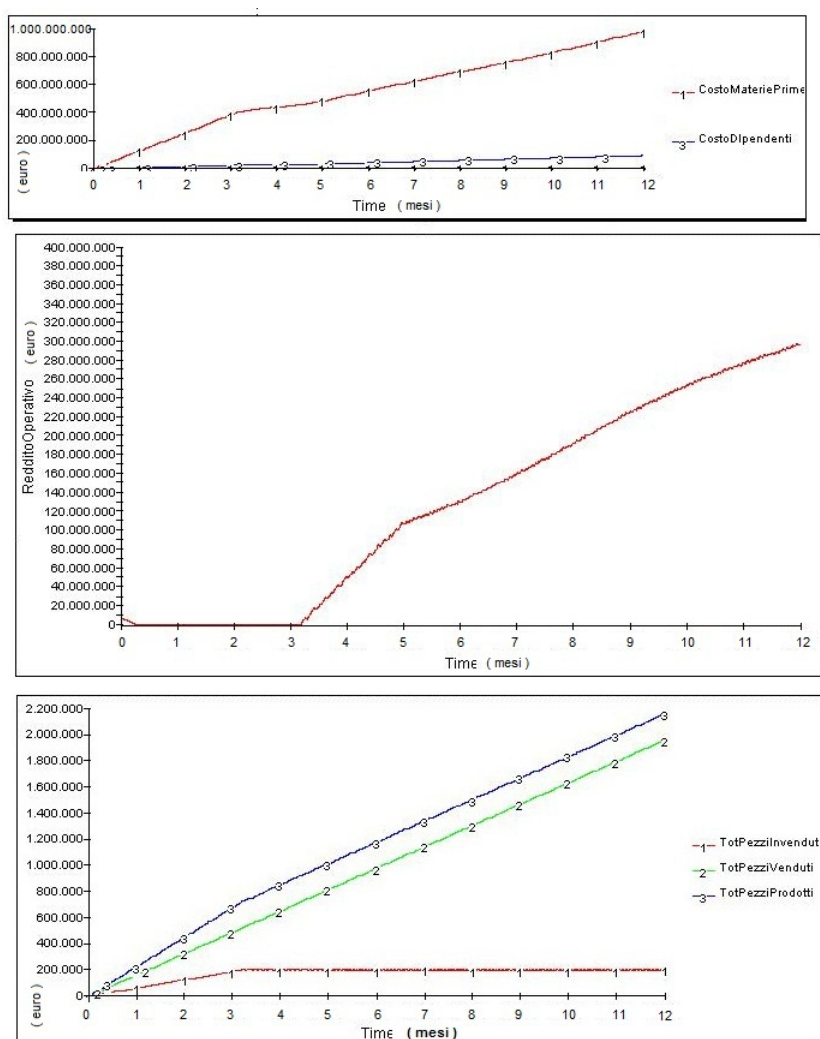


Figura 2.35: Grafici modello simulato in equilibrio 2/2

# Capitolo 3

## Analisi

In questo capitolo, affronteremo delle simulazioni sul modello in cui si potrà vedere come reagirà l'azienda con le caratteristiche prese in esame a degli scenari che potrebbero verificarsi.

### 3.1 Simulazione 1

Nella prima simulazione si vuol dimostrare quanto precedentemente affermato sulla possibilità che l'azienda utilizzi del rottame già posseduto e quindi non lo acquisti. Per far ciò, si è impostato lo stock del rottame a 500.000 unità iniziali e quello del carbone a 10.000 unità. Si nota in questo modo come il reddito salga abbastanza significativamente, attestandosi sui 400 milioni di euro (sempre sottolineando il fatto che non si possiedono dati relativi all'andamento dei prezzi di vendita dei prodotti), mentre rimangono costanti il totale dei pezzi rimasti invenduti e quindi immagazzinati (circa 200.000 unità come impostato)

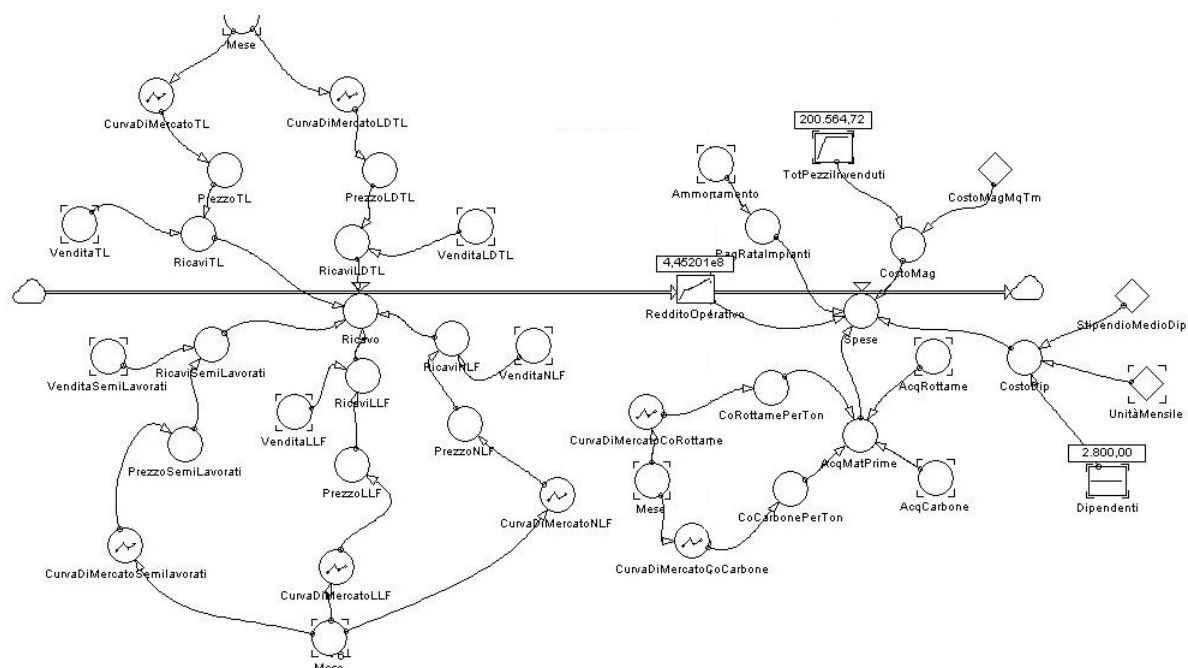


Figura 3.1: Risultati simulazione Stock Rottame- carbone inizializzato 1/2

Si può notare dalle immagini sottostanti come le quantità di acciaio prodotto e le quantità di pezzi prodotti/venduti rimanga pressoché identica alla precedente simulazione in equilibrio. Tuttavia, la cosa veramente fondamentale che si vuol dimostrare con questa simulazione, e che conferma quanto precedentemente sostenuto, la si nota osservando il costo delle materie prime, che è passato dagli oltre 900 milioni precedenti ai 750 milioni circa di questa simulazione, andando ad allinearsi perfettamente con quelli contenuti nel report preso in riferimento. Ciò sottolinea ulteriormente la robustezza del modello presentato in quanto, analizzando un'azienda già avviata come la Beltrame, è lecito aspettarsi che questa possieda già un parco rottame da cui attingere.

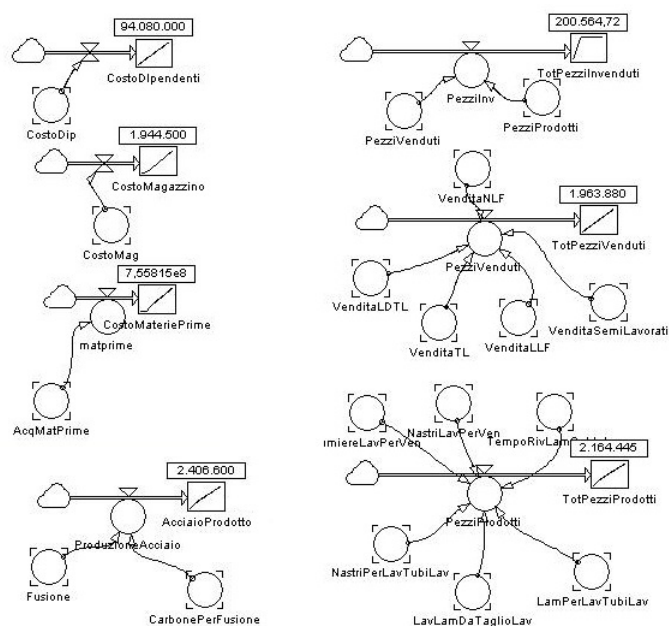


Figura 3.2: Risultati simulazione Stock Rottame- carbone inizializzato 2/2

## 3.2 Simulazione 2

Si è effettuata una simulazione impostando una curva di mercato a «U», la quale prevede una vendita per un primo periodo (2 mesi) pari a circa all'80% dei semilavorati prodotti, un periodo centrale di circa 8 mesi in cui le vendite si attestano ad un livello inferiore al 20% ed un ultimo periodo finale in cui ci prevede una ripresa economica con le vendite che tornano al 90%. Data quindi la seguente curva (figura 3.3)

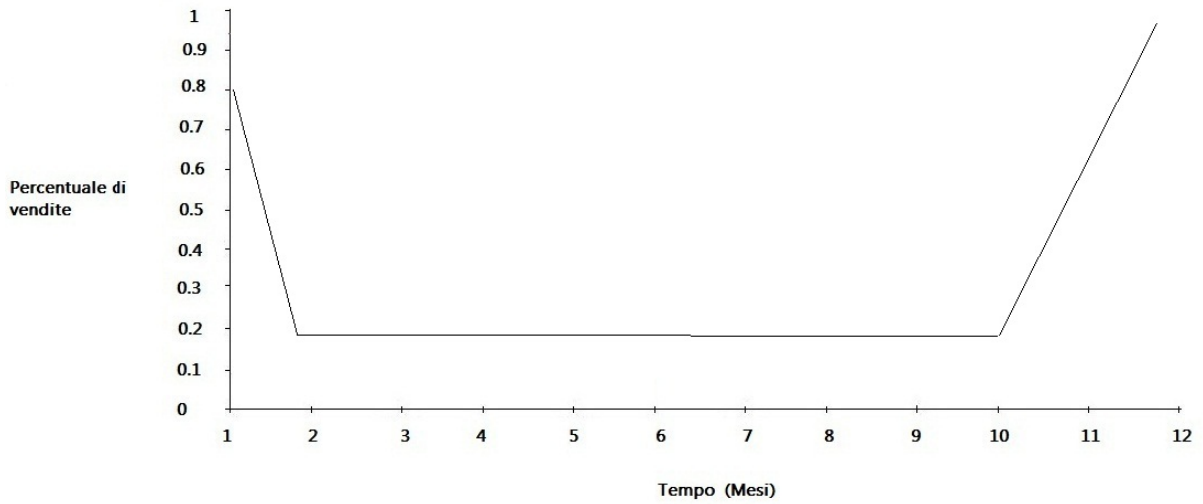


Figura 3.3: Curva di mercato ad «U»

si ottengono i seguenti risultati

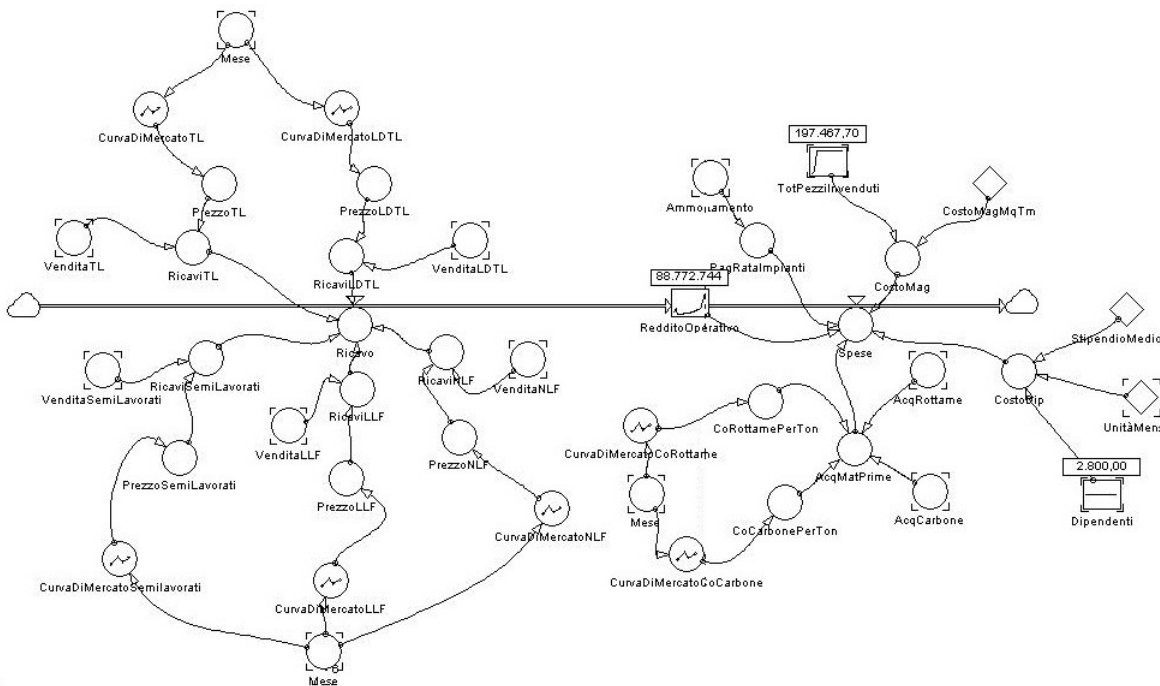


Figura 3.4: Risultati simulazione curva ad «U» 1/3

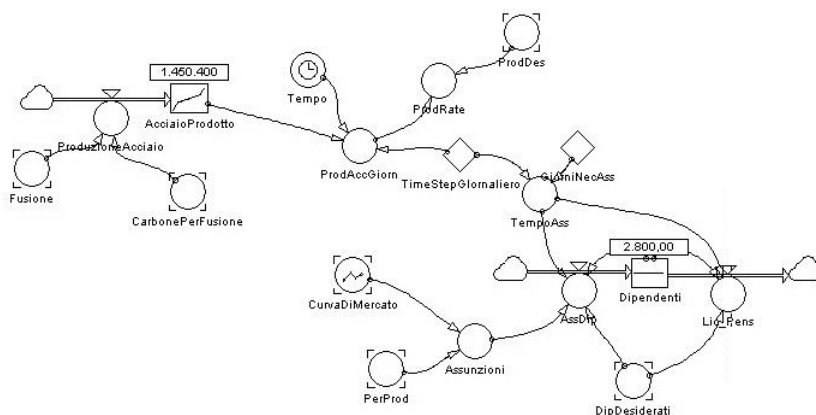


Figura 3.5: Risultati simulazione curva ad «U» 2/3

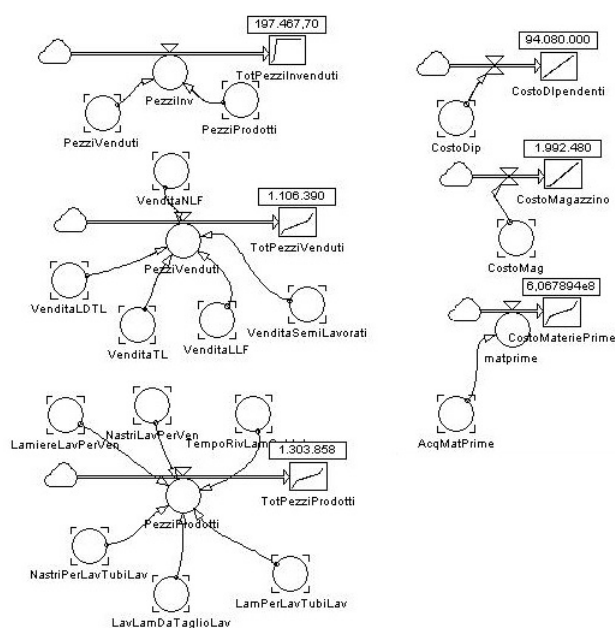


Figura 3.6: Risultati simulazione curva ad «U»3/3

Dal secondo grafico mostrato in figura 3.7 si mette in risalto la flessibilità del forno elettrico. Infatti, a differenza del ciclo integrale da altoforno, in cui quest'ultimo non può essere mai spento, un'acciaiera elettrica può stoppare la produzione di acciaio in un momento in cui il mercato presenta un stato di crisi (come evidenziato dalla curva

di mercato), per riprendere quando la situazione sarà migliorata ( gli ultimi due mesi). Ciò può essere fatto in diversi modi:

- Spegnendo alcuni forni;
- Riducendone la capacità produttiva dei forni e mantenendo il numero di operai inalterato;

Nel nostro modello abbiamo deciso di adottare la seconda ipotesi, dato anche il trend reale del mercato, che negli ultimi anni è in ripresa. In entrambi i casi si vede come sia le uscite che le entrate abbiano lo stesso andamento, perché l'azienda non sarà costretta a comprare materie prime e produrre ugualmente, ma bloccherà la produzione ed i costi ad essa relativi. A conferma di quanto appena detto, si possono osservare i grafici sottostanti che rappresentano rispettivamente:

- il totale dei pezzi semilavorati prodotti, venduti e immagazzinati, che nel momento in cui la domanda di mercato si riduce al 20% ed il magazzino raggiunge la saturazione, hanno un andamento decisamente meno ripido rispetto a quello iniziale in cui il mercato richiedeva l'80% dei pezzi prodotti;
- la produzione di acciaio giornaliera, che nel momento in cui la curva di mercato si abbassa, scende di conseguenza drasticamente. Questo perché come spiegato in precedenza, nel momento in cui non c'è richiesta di prodotti sul mercato, la flessibilità del ciclo elettrico permette la riduzione della produzione riducendo di conseguenza i costi;
- le uscite e le entrate dell'azienda.

Per quest'ultimo è importante fare un discorso un pò più specifico. Osservando infatti il grafico si nota come fino al secondo mese, in cui la domanda di mercato si attesta sull'80%, la curva delle entrate sia maggiore rispetto a quella delle uscite. Nel momento in cui il mercato crolla, abbassando la domanda al 20%, si vede come le entrate non riescano più

a coprire le uscite fino al settimo mese, in cui, la produzione è stata già abbassata, i costi ridotti, e la vendita dei semilavorati già prodotti in precedenza, permette di bilanciare le uscite con le entrate in modo da ottenere un piccolo utile fino al momento della ripresa del mercato, in cui l'azienda ricomincia a produrre maggiormente e quindi ad ottenere utili più consistenti

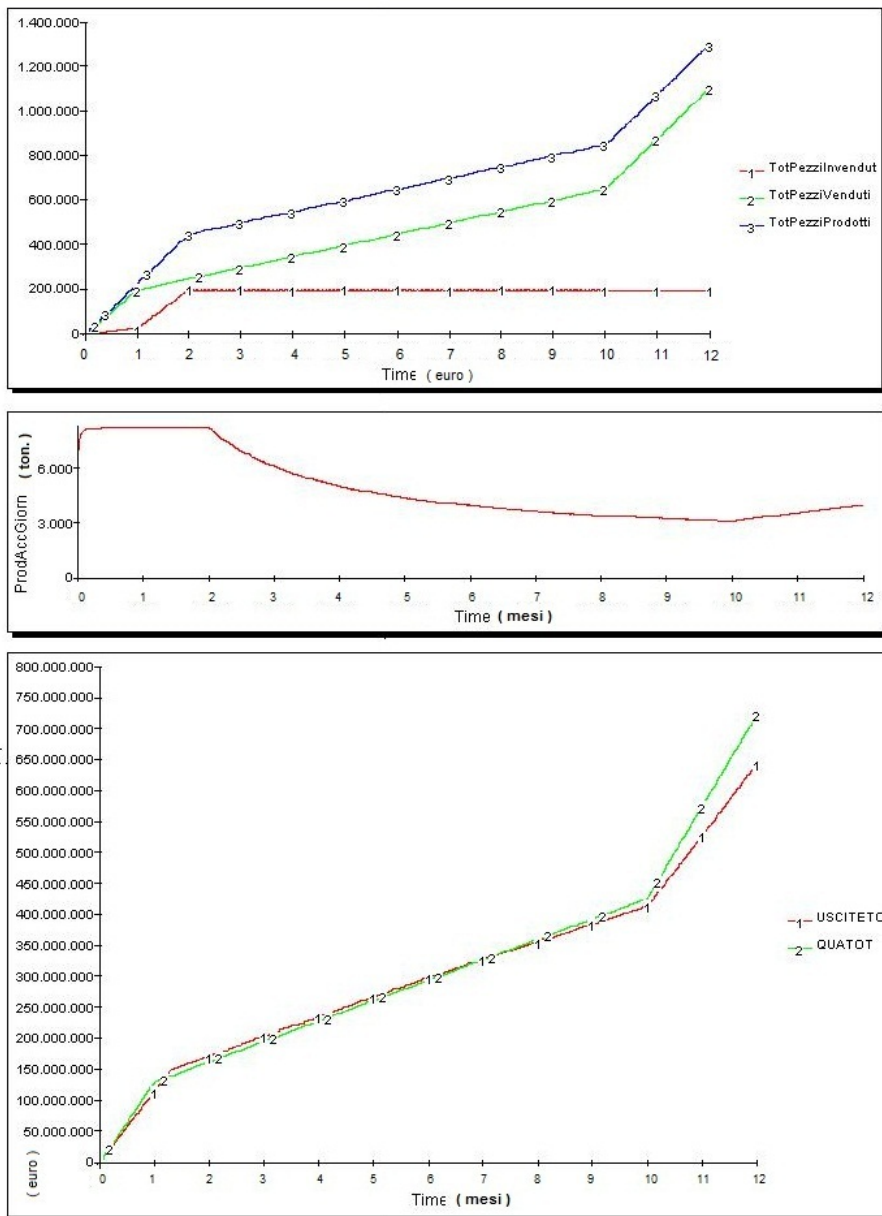


Figura 3.7: Grafici simulazione curva ad «U» 1/2



Quanto appena detto, trova conferma nei grafici dei costi di acquisto delle materie prime che, nel momento di crisi, si riducono notevolmente (in quanto non è più necessario comprare) al contrario dei costi di magazzino che continuano a salire (fino al raggiungimento delle 200.000 unità) ed il costo del personale (che andrà remunerato comunque). Indice importante è il «ProdRate» di cui abbiamo già parlato durante la spiegazione del modello e che rappresenta la percentuale di utilizzo dell'intero impianto che in periodi di crisi abbassa la sua produttività fino al 40% della propria capacità produttiva. Dall'ultimo grafico, riguardante il reddito, si nota quello che si era detto precedentemente parlando delle entrate e delle uscite. Nel momento in cui crolla il mercato si nota che, appena il magazzino si satura ed il grado di utilizzo della struttura si abbassa, il reddito operativo ricomincia a salire.

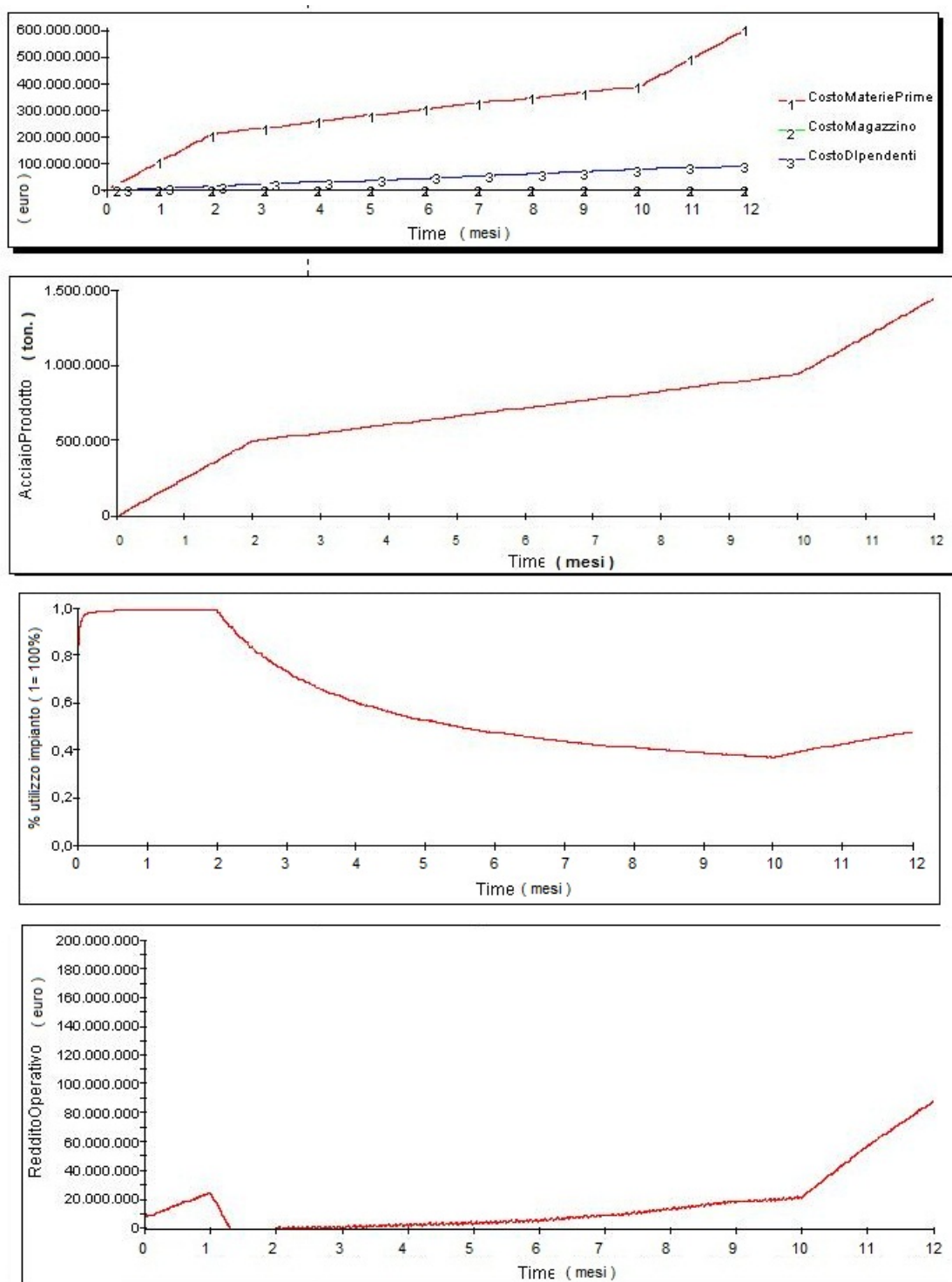


Figura 3.8: Grafici simulazione curva ad «U» 2/2

### 3.3 Simulazione sui 3 anni

Proponiamo ora delle simulazioni basate su un asse temporale lungo 36 mesi.

#### 3.3.1 Simulazione uno con %vendite: primo anno= 0,65%, secondo anno 0,95%, terzo anno = 0,70%

In questa prima simulazione viene adottata la seguente curva di mercato:

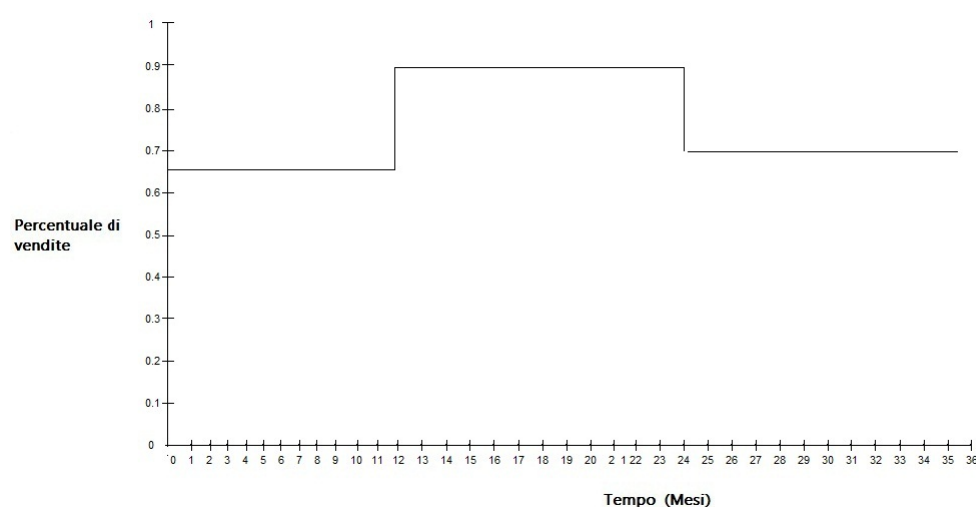


Figura 3.9: Curva % vendite due

Si nota come la produzione di acciaio aumenta notevolmente, non solo perché si stanno analizzando tre anni anziché uno, bensì perché viene aumentata la produzione per la maggior richiesta sul mercato di prodotti. Dal piccolo grafico che vediamo all'interno dello stock dei pezzi invenduti, si nota come ad un certo punto, al crescere della domanda, lo stock vada svuotandosi per poi iniziare a riempirsi quando la curva di mercato si abbassa nuovamente. Inoltre vediamo come anche il costo dei dipendenti sia aumentato notevolmente così come il loro numero. Questo perché l'azienda, nel momento in cui si accorge della maggior richiesta di prodotti sul mercato (la curva si è supposto che per tutto il secondo anno si attesti su valori dello 0,95%), decide di acquisire un nuovo forno per incrementare la capacità produttiva dell'impianto, e di conseguenza necessiterà di incrementare anche il personale ( in figura 3.11 si nota come il numero dei dipendenti passi da 2800 a 3360).

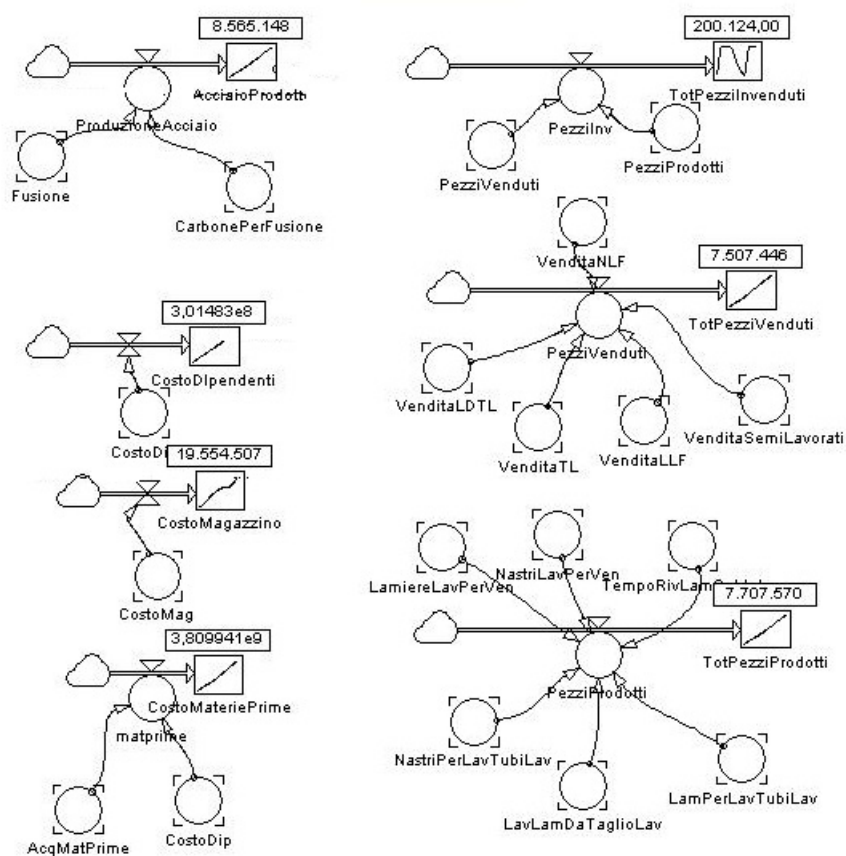


Figura 3.10: Costi con curva1

Anche il reddito aumenta notevolmente, nonostante i costi sostenuti per acquisire un nuovo forno, fino a raggiungere gli 817 milioni di euro in tre anni.

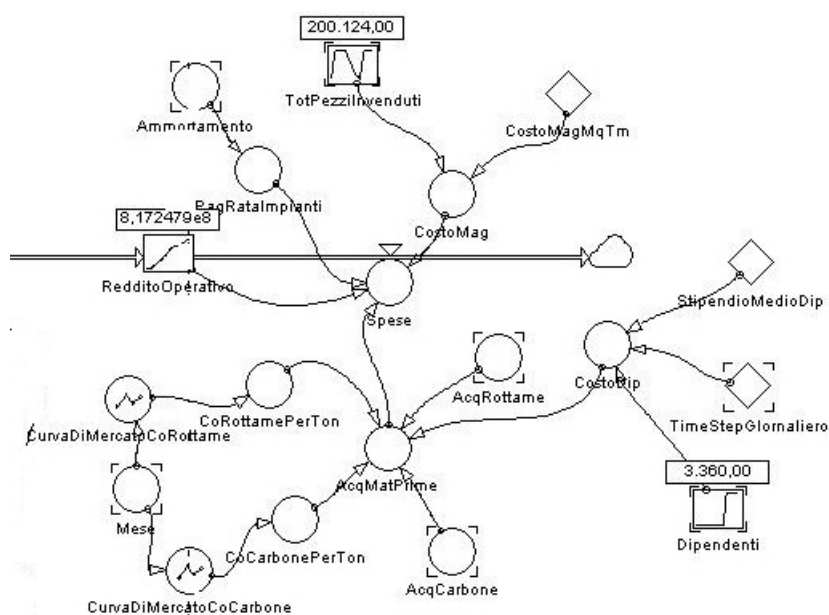


Figura 3.11: Reddito con curva1

Anche i grafici di questa simulazione risultano essere indicativi. Infatti vediamo come la produzione di acciaio giornaliera tenda ad aumentare in corrispondenza dell'aumento delle vendite, mentre il «prodrate» tende dapprima a scendere, a causa della curva di mercato e poi ad aumentare nuovamente insieme ad essa, grazie all'acquisizione del nuovo macchinario. Nel momento dell'abbassamento della richiesta di pezzi sul mercato, subirà un picco negativo fino a raggiungere una stabilità che si aggira sullo 0,8. Il picco che si vede nel grafico in corrispondenza del 23-esimo mese corrisponde al passaggio della curva di mercato da 0,95 a 0,70.

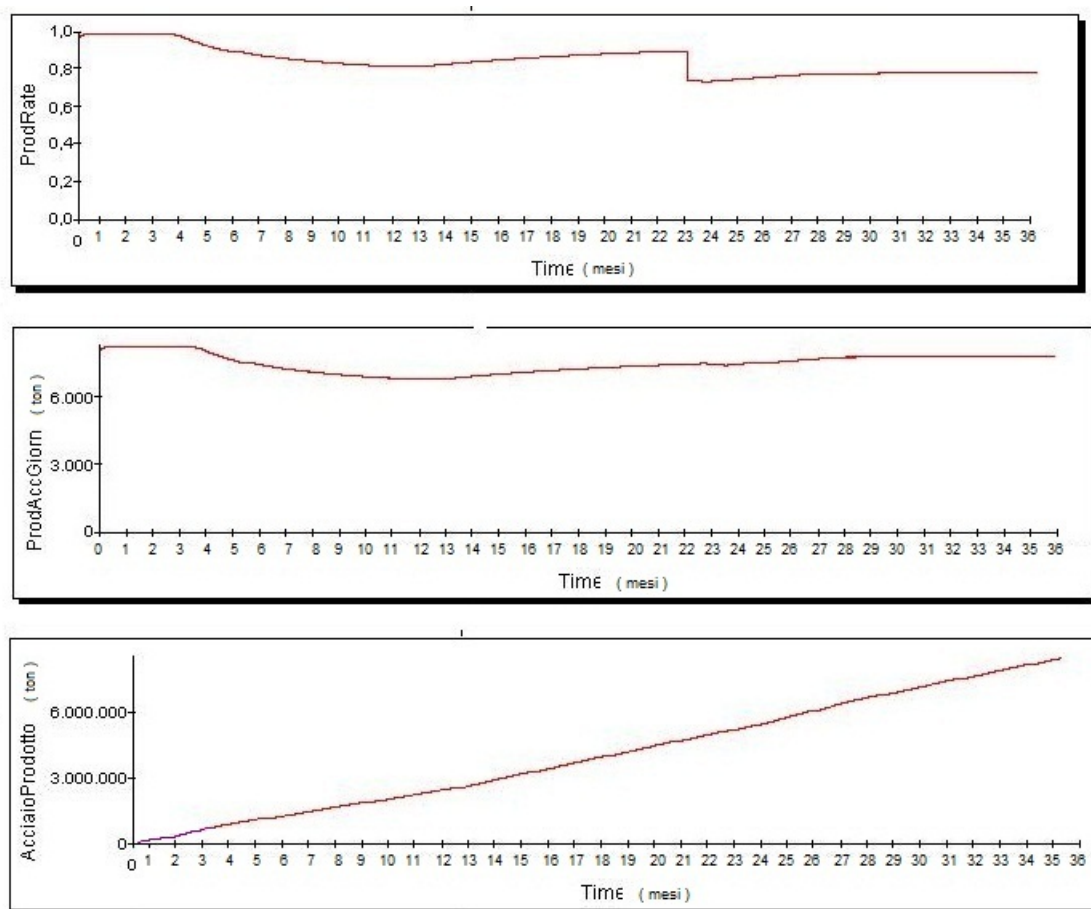


Figura 3.12: Grafici con curva 1/2

Per comprendere meglio come varia il reddito operativo dell'azienda in queste condizioni di mercato, si è deciso di mostrare anche il variare dei valori che stabiliscono la curva. Infatti, nella figura sottostante, si nota come nel momento in cui l'azienda decide di acquisire un nuovo forno, aumenti il numero dei dipendenti desiderati, e di conseguenza il costo ad essi associato e per un periodo di tempo, finché questi non raggiungeranno il numero ottimale, il costo sostenuto per il nuovo impianto inciderà su di esso perché non sfruttato in termini di produzione.

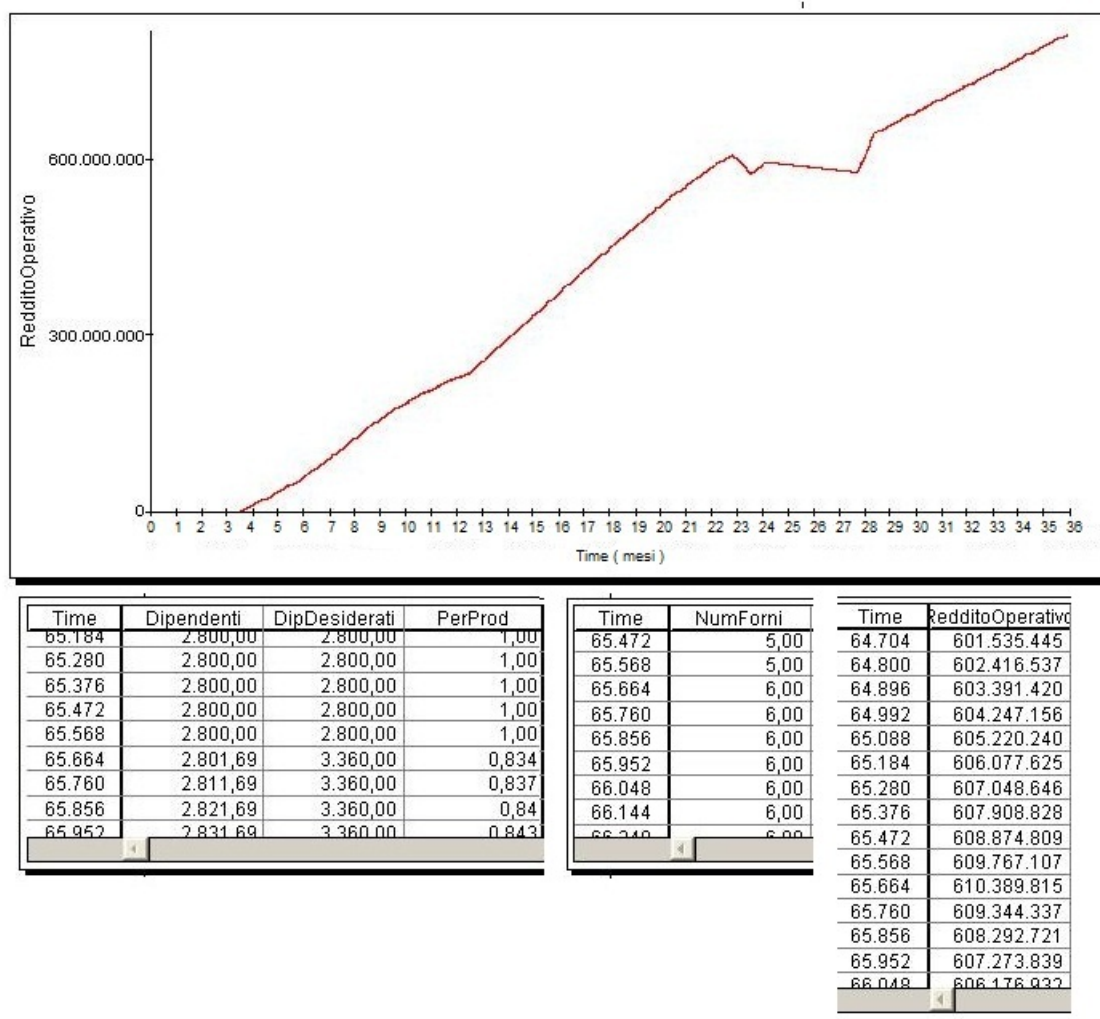


Figura 3.13: Grafici con curva1 2/2

Come si nota da questa simulazione, in cui al terzo anno la curva di mercato subisce un lieve calo, l'azienda continuerà ad incrementare il proprio reddito operativo non appena raggiungerà il numero ottimale di dipendenti. Si evita quindi di mostrare la simulazione in cui si suppone che sia il secondo anno che il terzo la curva si attesti su percentuali di vendita dello 0,95% dei prodotti.

### 3.3.2 Simulazione due con %vendite: primo anno= 0,65%, secondo anno 0,95%, terzo anno = 0,95%

Nella figura sottostante verrà mostrato solo la logica conseguenza di quanto affermato in precedenza, per sottolineare l'efficacia dell'acquisto di un nuovo forno in condizioni di mercato particolarmente favorevoli. Si nota come dopo il costo sostenuto per acquisire l'impianto ( che rappresenta il picco nel grafico di sinistra), la crescita esponenziale riprende immediatamente raggiungendo i 962 milioni di euro, mentre, nel caso in cui l'azienda avesse deciso di non acquistare il 6 forno, il reddito crescerebbe senza picchi, ma sarebbe inferiore di circa 8 milioni di euro ( nel grafico di destra si attesta sui 954 milioni di euro). Potrebbe sembrare una variazione piuttosto bassa per una grande azienda, ma bisogna considerare che il lasso di tempo considerato è comunque breve e se negli anni avvenire il mercato si mantenesse su questi standard, il reddito continuerebbe ad essere comunque superiore a quello che si otterrebbe senza effettuare l'investimento per l'acquisizione del sesto forno (per non dilungarsi ulteriormente, si è testato il modello con e senza l'acquisizione del forno anche su 5 anni e la differenza passa da 7 milioni a circa 15 milioni acquistando un nuovo forno). Infine risulta superfluo dire che, acquistando un altro forno, la produzione di acciaio sarebbe maggiore rispetto al caso in cui questi non venisse acquistato (9 milioni di tonnellate contro gli 8,4 milioni di tonnellate prodotte senza).



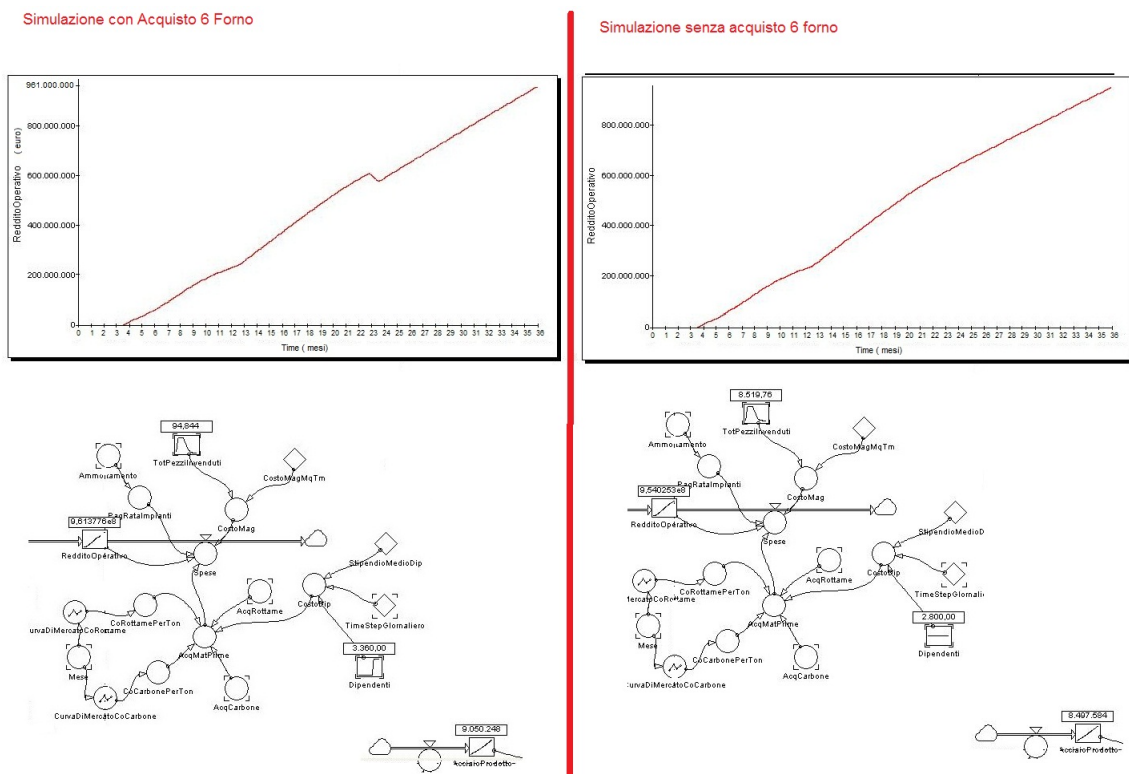


Figura 3.14: Reddito con curva % vendite del secondo e terzo anno allo 0,95%

### 3.3.3 Simulazione tre con %vendite: primo anno= 0,65%, secondo anno 0,90%, terzo anno = 0,20%

Si propone ora uno scenario in cui dopo un incremento del mercato, si presenta un crollo inaspettato dello stesso che porta la percentuale di vendita dal 90% al 20% ( Figura 3.15).

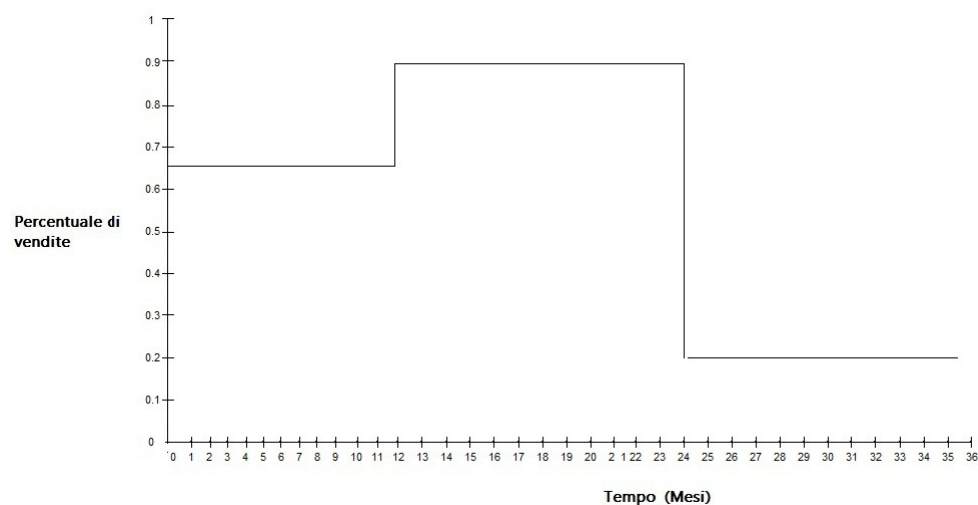


Figura 3.15: Curva % vendite tre

Come nella precedente simulazione, anche in questo caso si ritiene utile mostrare come inciderebbe tale curva di mercato sul reddito aziendale, qualora essa decida ad un certo punto di acquisire un nuovo forno. Confrontando i dati relativi ad entrambe le simulazioni, si nota come all'acquisto di un nuovo forno corrispondano anche un leggero aumento della produzione, che passa da 6,3 a 6,5 milioni di tonnellate (l'aumento risulta essere minimo perché come detto poco dopo l'acquisizione del forno, c'è un crollo del mercato che induce l'azienda ad abbassare la propria produzione con i costi ad essa associati) e l'aumento dei costi per il personale che aumenta di conseguenza.

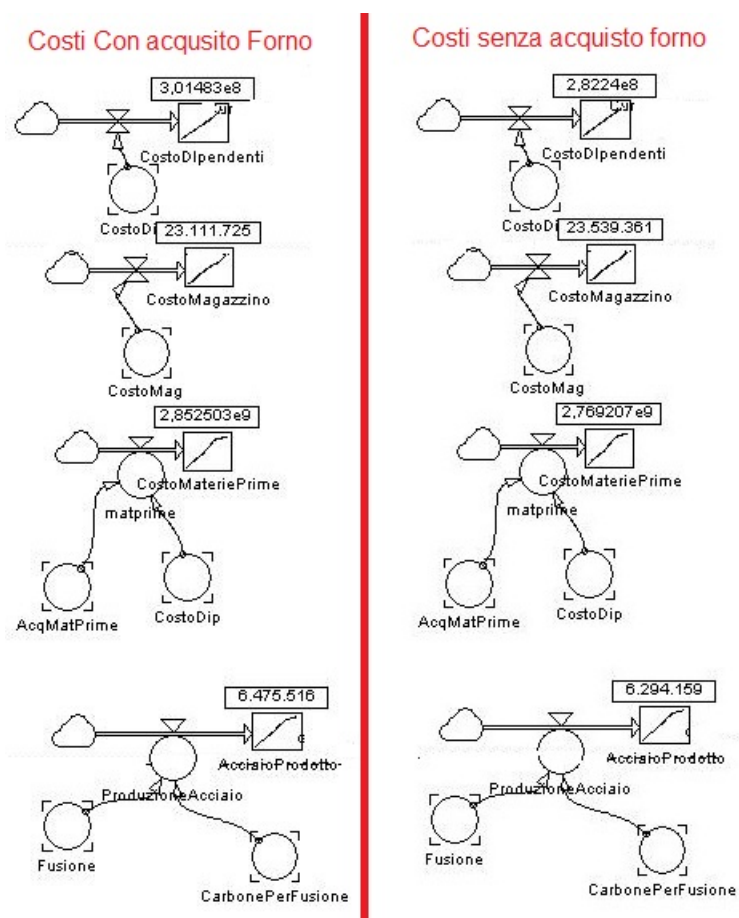


Figura 3.16: Costi con curva due

Osservando invece il reddito, si nota come, seppur di fronte ad un collasso del mercato, all'azienda converrebbe ugualmente aumentare la propria capacità produttiva in condizioni di mercato particolarmente favorevoli ( percentuale vendite oltre il 90 %) in quanto avrebbe comunque un reddito maggiore rispetto a quello che otterrebbe non comprandolo ( R.O con acquisizione 543 milioni di euro; R.O senza acquisizione 540 milioni di euro).

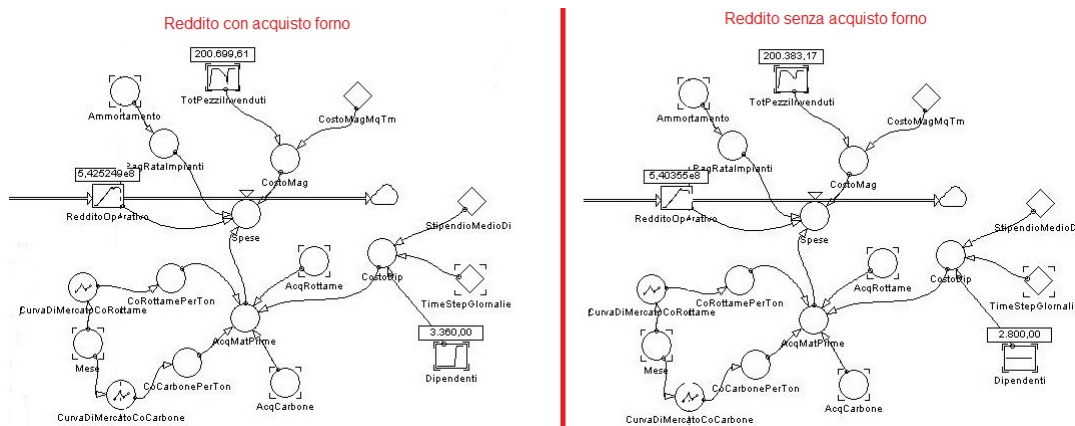


Figura 3.17: Reddito con curva due

Esaminando i grafici relativi all'utilizzo dell'impianto e al reddito, vediamo come il grado di utilizzo dell'impianto, subisca un picco improvviso al momento dell'acquisizione del forno (causato dal tempo necessario ad assumere ulteriore personale per utilizzare l'ulteriore capacità produttiva acquisita), e tenda ad arrivare con il crollo del mercato sotto lo 0,6%, mentre, senza l'aumento della capacità produttiva, si nota come tale valore rimanga leggermente sopra lo 0,6%. Guardando il grafico del reddito, invece, si nota come il picco sia presente in entrambi i casi al momento del crollo del mercato, ma in maniera più accentuata nel grafico di sinistra. Tuttavia entrambi tendono poi ad allinearsi su valori intorno ai 540 milioni di euro.

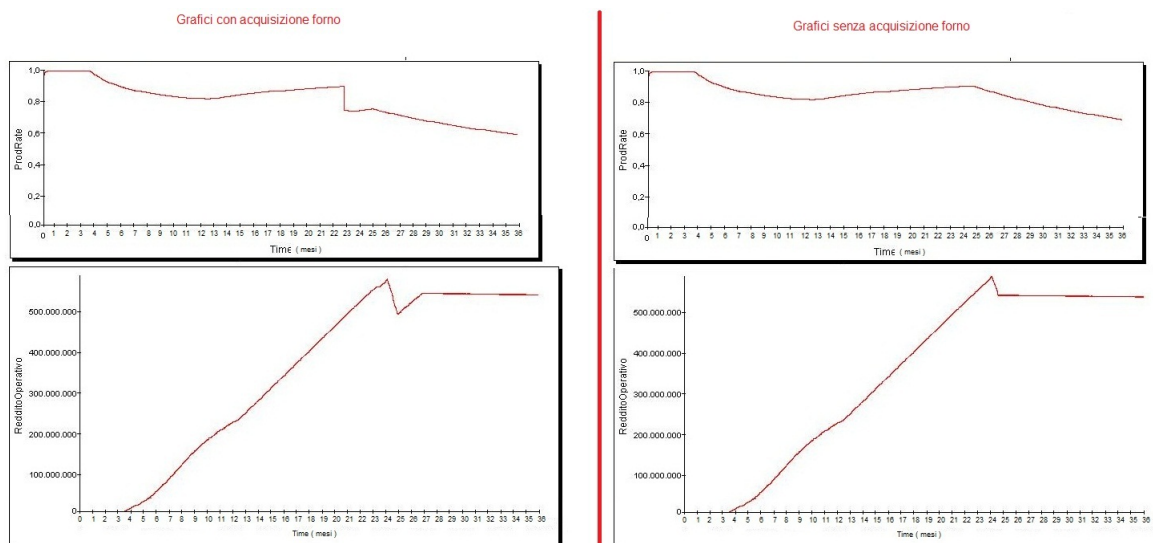


Figura 3.18: Grafici con curva due

### 3.3.4 Simulazione quattro con %vendite: primo anno= 0,65%, secondo anno 0,20%, terzo anno = 0,20%

Si propone ora uno scenario in cui dopo il primo anno in equilibrio, si presenta un crollo inaspettato del mercato che porta la percentuale di vendita dal 65% al 20% per i seguenti 2 anni ( Figura 3.19).

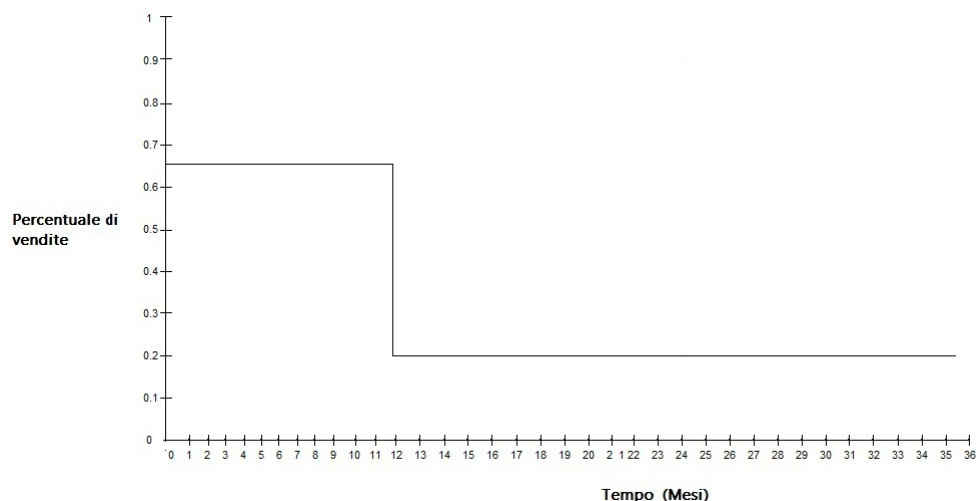


Figura 3.19: Curva % vendite quattro

Si può vedere come dopo il primo anno in cui il reddito sale, esso trovi una certa stabilità. Questo perché i costi, ed in particolare quello del personale, vengono coperti a malapena dai ricavi. Inoltre è importante sottolineare come l'azienda si troverebbe in netta perdita se venissero considerati quei costi non inclusi nel nostro modello, quali ad esempio quello dell'elettricità e dell'acqua per il raffreddamento. Dalle immagini sottostanti si nota come la produzione di acciaio sia molto bassa, circa 3,9 milioni di tonnellate, Quantità che si potrebbe raggiungere in un anno e qualche mese se l'impianto funzionasse a pieno regime.

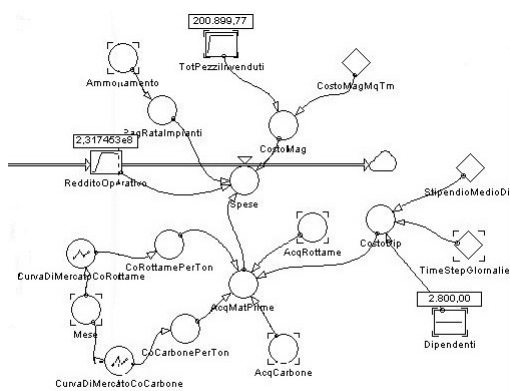


Figura 3.20: Reddito con curva quattro

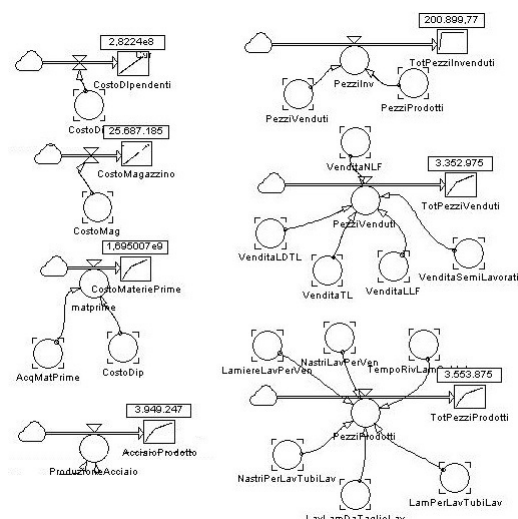


Figura 3.21: Costi/prodotti con curva quattro

Indicativo è il grafico del reddito operativo, che mostra come al collasso del mercato tenda ad una stabilità causata dall'annullarsi delle entrate e delle uscite per gli anni in cui la percentuale di vendita coincide con il 20% della produttività. Tale stabilità indica solamente che nel periodo di magra l'azienda non avrebbe alcun utile, bensì diciamo «produca in pareggio». Anche il primo grafico è significativo, e mostra come tale azienda stia producendo a circa il 40% della sua effettiva capacità produttiva.

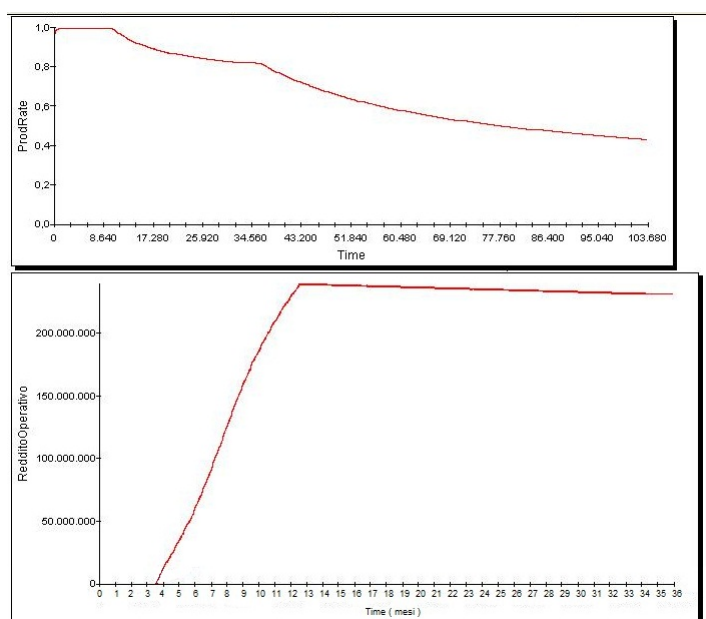


Figura 3.22: Grafico reddito con curva quattro

A questo punto sorgerebbe naturale porsi la seguente domanda: l'azienda, diminuendo ulteriormente la capacità produttiva e riducendo il personale, potrebbe superare un periodo così lungo di crisi? La risposta indicata dal modello, con tutti i limitiche esso può avere, è no. Infatti, modificando la produttività desiderata, facendovi incidere il numero dei forni effettivamente attivi anziché quelli posseduti dall'azienda, e modificando di conseguenza il valore di produzione desiderata e il numero di dipendenti desiderati, l'azienda diminuirebbe la produzione di acciaio che passerebbe dai 3,9 milioni a 3,1 e allo stesso tempo di abbassare i costi di produzione relativi ai dipendenti, ma allo stesso tempo, il reddito si ridurrebbe ulteriormente così da ottenere un guadagno leggermente minore rispetto a quello adottato dalla precedente simulazione. In ogni caso, data l'im-

portanza dell'acciaio nel mondo moderno, possiamo ritenere questo scenario abbastanza utopistico e difficilmente realizzabile nella realtà.



# Capitolo 4

## Conclusioni

Dopo aver mostrato come un modello di simulazione possa essere utile applicato al campo aziendale, si definiscono ora in maniera sintetica i risultati ottenuti.

Quelli mostrati ovviamente sono solo alcuni degli scenari che un'azienda, di qualsiasi settore economico, si potrebbe trovare ad affrontare. Con la modellazione sistemica, si riesce a fornire un importante, ed in alcuni casi indispensabile, supporto alle scelte strategiche che ogni azienda, ma non solo, potrebbe trovarsi a dover compiere. Chiunque prima di effettuare una scelta vorrebbe conoscere quali sarebbero le ripercussioni che essa comporterebbe, se fosse meglio agire in un modo oppure in un altro. Come mostrato in tutte le simulazioni, con l'aiuto di un modello che descrive nei particolari il funzionamento di un'azienda, possiamo rappresentare ciò che avverrebbe compiendo una scelta piuttosto che un'altra, si potrebbe evitare ad un'azienda un investimento inutile o aiutarla a massimizzare il proprio profitto. Dalle simulazioni effettuate, a mio avviso, si possono ricavare diverse conclusioni che sottolineano maggiormente l'utilità del modello e che elencheremo di seguito:

1. Prendiamo ad esempio la prima simulazione. Quale azienda di fronte ad una crisi di mercato, non ricorrerebbe alla cassa integrazione o al licenziamento per i propri dipendenti? A mio avviso non molte. Invece, mantenendo inalterato il numero di dipendenti, riempiendo un magazzino con dei semilavorati che si sono continuati a produrre e allo stesso tempo riducendo la produttività dell'impianto, nel momento di ripresa del mercato, si otterrebbero degli ottimi profitti. Ciò non sarebbe

possibile senza aver mantenuto il numero di operai inalterato, o perlomeno non si sarebbero ottenuti gli stessi livelli di profitto, così come ciò non sarebbe possibile se, nel periodo di crisi, non si fosse provveduto a continuare la produzione, se pur in maniera ridotta, in modo da avere immediatamente a disposizione dei prodotti da vendere al momento della ripresa, senza dover aspettare che l'impianto fosse riattivato (di conseguenza il tempo di preparazione dei semilavorati, sarebbero per l'azienda un costo inteso come mancato guadagno di vendita di prodotti richiesti ma non posseduti).

2. Analizzando un lasso di tempo maggiore( come ad esempio un triennio) si nota come, in un periodo particolarmente favorevole, l'aumento della capacità produttiva dell'impianto, sarebbe certamente da favorirsi all'immobilismo, anche in previsione di una crisi successiva, in quanto si otterrebbero degli utili maggiori rispetto a quelli che si otterrebbero facendo rimanere inalterata la capacità produttiva dell'impianto. Spiegata in questa maniera potrebbe sembrare semplice e banale, ma senza il sostegno di un modello che mostra cosa comporterebbe questa scelta strategica (l'acquisto di un nuovo forno ed il conseguente aumento della capacità produttiva), quanti dei lettori di questa tesi avrebbero optato per ampliare la capacità produttiva? Io personalmente mi sarei posto fra coloro che avrebbero mantenuto inalterata la capacità produttiva, rinunciando inconsciamente ad ulteriori guadagni come si può notare nello specifico nelle tabelle riepilogative seguenti:

<b>Mercato con % vendite oltre il 90%</b>		
	<b>Simulazione 6 forni</b>	<b>Simulazione 5 forni</b>
<b>N° Forni</b>	6	5
<b>Costo Dipendenti</b>	301 milioni	282milioni
<b>N° Dipendenti</b>	3360	2800
<b>Costo Materie Prime</b>	4.083.000.000 euro	3.799.000.000 euro
<b>Acciaio prodotto</b>	9 milioni di tonnellate	8,4 milioni di t
<b>Reddito Operativo</b>	961 milioni euro	954 milioni euro
<b>Mercato con % vendite che crollano dopo l'aumento della capacità produttiva</b>		
	<b>Simulazione 6 forni</b>	<b>Simulazione 5 forni</b>
<b>N° Forni</b>	6	5
<b>Costo Dipendenti</b>	301 milioni	282milioni
<b>N° Dipendenti</b>	3360	2800
<b>Costo Materie Prime</b>	2.852.000.000 euro	2.769.000.000 euro
<b>Acciaio prodotto</b>	6,5 milioni di tonnellate	6,3 milioni di t
<b>Reddito Operativo</b>	543 milioni euro	540 milioni euro

Figura 4.1: Riepilogo con acquisto/ non Acquisto 6 forno e crollo/ aumento % vendita

Si vede come non aumentando la capacità produttiva, andrebbero persi circa 270 milioni di euro, se il mercato continua ad avere un trend più che positivo ( con percentuali di vendita che si allineano al minimo sul 70 %), e circa 90 milioni di euro se dopo un periodo particolarmente favorevole ci dovesse essere un crollo che abbassa le vendite percentuali di vendite fino al 20.

3. L'importanza della forza lavoro. Mentre sembra evidente che un'azienda, con un numero inadeguato di operai, non riesca a produrre in maniera efficiente, le simulazioni che presento, seppure con tutti i limiti che hanno per essere il prodotto di un ambiente artificiale, possono suggerire che ciò non sia poi così evidente in tutte le situazioni. Al contrario, la simulazione, che rappresenta un ambiente artificiale ma plausibile perchè costruito sulla scorta di informazioni reali, rappresenta almeno un'istanza in cui quest'affermazione è discutibile. In particolare nella simulazioni in cui è stato impostato un numero iniziale di dipendenti pari a 0, si nota palesemente come, finché non si raggiunga la soglia minima che si aggira sulle 1700 unità, l'azienda sosterrrebbe costi per l'acquisto delle materie prime, per il pagamento degli stipendi che non sarebbero coperti dai ricavi. Dall'immagine sottostante si pone in evidenza come l'impianto si avvii soltanto dopo che il rapporto tra i dipendenti desiderati e quelli effettivamente posseduti dall'azienda (variabile «PerProd») raggiunga lo 0,60 ovvero 1680 unità lavorative sulle 2800 unità desiderate. L'impinato

si avvierà con un solo forno e aumenterà non appena il rapporto salirà ( fino a che il rapporto sarà uguale a 1, ovvero 2800 dipendenti posseduti su 2800 desiderati)

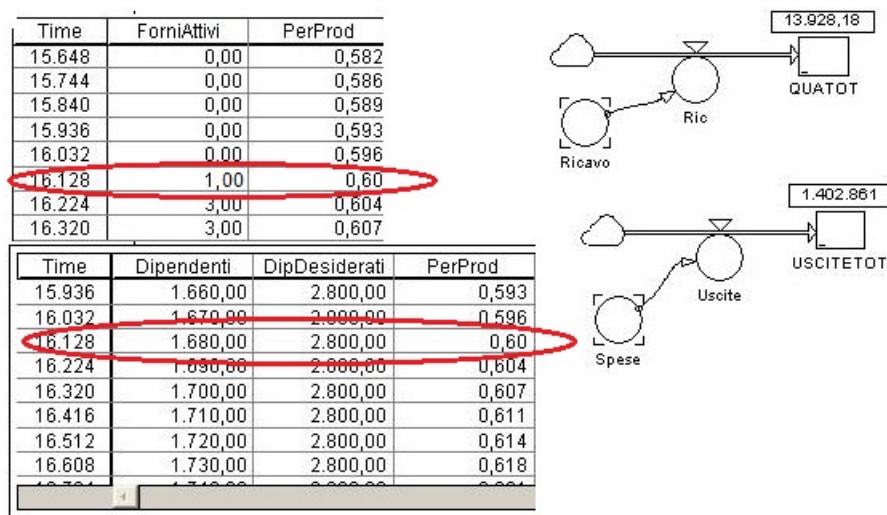


Figura 4.2: Raggiungimento soglia minima dipendenti

4. L'importanza del magazzino. In tutte le simulazioni mostrate, a partire da quella di equilibrio, si è messo in risalto quanto sia importante la componente magazzino per un'acciaieria elettrica. Infatti, questo consente di abbassare la produzione giornaliera di acciaio (una volta saturato) in condizioni di mercato sfavorevoli e allo stesso tempo di non perdere eventuali utili che si potrebbero ottenere in caso di ripresa improvvisa dello stesso. Questo perché si provvederebbe a soddisfare le richieste di eventuali acquirenti con le rimanenze accumulate mentre si riaumenta la produttività dei forni. Può sembrare banale, ma a ciò si collega anche il discorso effettuato al punto 1 e al punto 3 circa l'importanza dello stock dipendenti. Non diminuendolo, infatti, come detto, in corrispondenza di una ripresa delle vendite, si otterrebbero degli utili che andrebbero persi nel tempo di «riassunzione degli stessi». Riportiamo sotto un'immagine della simulazione basata sui 3 anni. All'inizio, il mercato non richiede molti pezzi ed il reddito operativo si annulla fra spese e ricavi. Non appena il magazzino si riempie, vediamo come anche il reddito, a seguito dell'abbassamento dei costi di produzione, comincia ad aumentare (cerchi rossi). Potrebbe sorgere spontanea allora la seguente domanda: perché mantenere una produttività alta anche se non c'è una richiesta sul mercato che la

gisutifichi e si aspetta di saturare il magazzino per abbassarla? La risposta la si nota nei grafici all'interno degli stock. Infatti, nel caso in cui il mercato avesse un picco improvviso di richieste, l'azienda otterrebbe il massimo profitto possibile avendo a disposizione rimanenze di magazzino. Se si osserva anche il cerchio blu, vediamo come all'aumento della richiesta corrisponde da una parte lo svuotamento del magazzino, e dall'altra il conseguente aumento crescente del reddito. Si nota inoltre come il magazzino tenda nuovamente a riempirsi quando al terzo anno le percentuali di vendita tornano sul 70%, per lo stesso principio prima citato, e per un breve lasso di tempo il reddito operativo non sale, o lo fa solo leggermente, dato che le spese e i ricavi quasi si equivalgono.

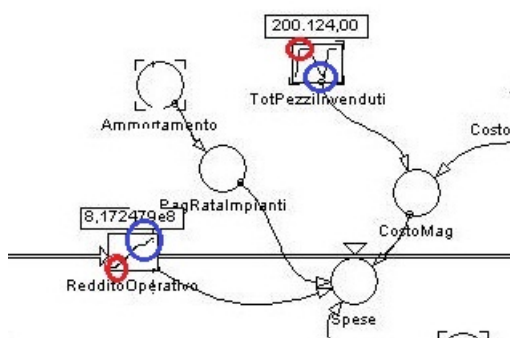


Figura 4.3: Confronto reddito/ magazzino con % vendita 0,65 - 0,95 - 0,70

5. La gestione delle materie prime. Nella prima simulazione si è messo in risalto l'importanza dello stock del rottame. Si è visto come si sarebbero abbassati i costi di acquisto se questo fosse già posseduto dall'azienda che non dovrebbe quindi acquistarlo. Data la curva del prezzo del rottame, sarebbe molto importante, a mio avviso, che l'azienda possedesse degli analisti di mercato specifici che analizzino e prevedano tale andamento. Così facendo, si potrebbe procedere ad acquisti sostanziosi non appena il prezzo non raggiunga, o scenda al di sotto, una certa soglia, in modo da avere sempre a disposizione il rottame necessario per il processo produttivo ed evitare allo stesso tempo di acquistarlo ad un prezzo maggiore e incrementare gli utili. Da una ricerca che ho effettuato sul parco rottami delle aziende, è emerso che, negli ultimi anni, le grandi aziende tendono ad incorporare in esse delle piccole acciaierie con il solo compito di preparare il rottame o di as-

sumere «ditte» per la sua lavorazione. Nel primo caso si tratta di multinazionali che inglobano al loro interno piccoli stabilimenti con il solo compito di trattare il rottame e trasferirlo nella sede dove questo verrà poi lavorato ( un esempio al riguardo lo si può trovare dal report annuale della tata dove sono stati stanziati dei finanziamenti per l'acquisizione di un sito addetto alla lavorazione del rottame). Nel secondo, invece, si tratta di ditte che inviano personale qualificato presso l'azienda con il solo compito di lavorare il rottame ( lavoro di «spezzettatura») e che spesso vanno a formare un'unità interna all'azienda (dove per unità si intende comparto lavorativo, come potrebbe essere il comparto degli analisti, tanto per fare un esempio). Tuttavia il modello proposto non prevede questo scenario, come già detto in fase di presentazione, in quanto richiederebbe un granularità troppo specifica di cui non si hanno sufficienti informazioni. Inoltre molti vantaggi sulla trattazione del rottame possono essere compresi meglio consultando il seguente PDF " [http://www.taurusweb.it/pdf/1101-Taurus\\_Lavorazione\\_Rottame\\_it.pdf](http://www.taurusweb.it/pdf/1101-Taurus_Lavorazione_Rottame_it.pdf) " in cui si parla dell'importanza di trattare il rottame con riferimenti particolari all'esistenza di apposite aziende specializzate adibite alla sua trattazione e ai vantaggi che ne conseguono. Così facendo si acquisterebbe il rottame ad un prezzo minore (lo si compra in forme irregolari e particolarmente grandi, che necessitano quindi di una spezzettatura prima di essere inseriti nel forno). Ciò non fa altro che confermare la tesi suggerita sull'importanza del prezzo di acquisto del rottame. Infatti, il parco rottami, non rappresenta un costo di per se per l'azienda (non si hanno costi di magazzino per il suo accumulo, in quanto è tenuto ammassato in un grande spazio all'aperto) e acquistarlo ad un prezzo vantaggioso, prevedendo le oscillazione dei prezzi ad esso relativi, si potrebbe ottenere un importante vantaggio competitivo, si che per farlo si incorpori un'altra azienda, sia che si assumano degli analisti con il compito di analizzare l'andamento del prezzo.

# Appendice

Prima di mostrare l'elenco delle equazioni contenute nel modello, è necessaria una breve premessa. Un circuito di retroazione, (descritto al capitolo 2), dal punto di vista matematico può essere descritto come  $F = \frac{dL}{dt} = f(L)$ . «E' importante ricordare che, normalmente, in un modello, esistono più circuiti di retroazione ed un numero imprecisato di variabili livello e variabili flusso. I circuiti di retroazione sono poi concatenati poiché ciascuna variabile flusso, oltre che essere funzione della variabile livello cui è direttamente connessa, può dipendere anche da altre variabili livello comprese nel modello. Ciascuna variabile flusso può essere funzione non solo della variabile livello cui è connessa, ma anche dell'altra variabile livello» (Mollona, 2008). Quindi un modello System Dynamic, come quello rappresentato nella figura sottostante

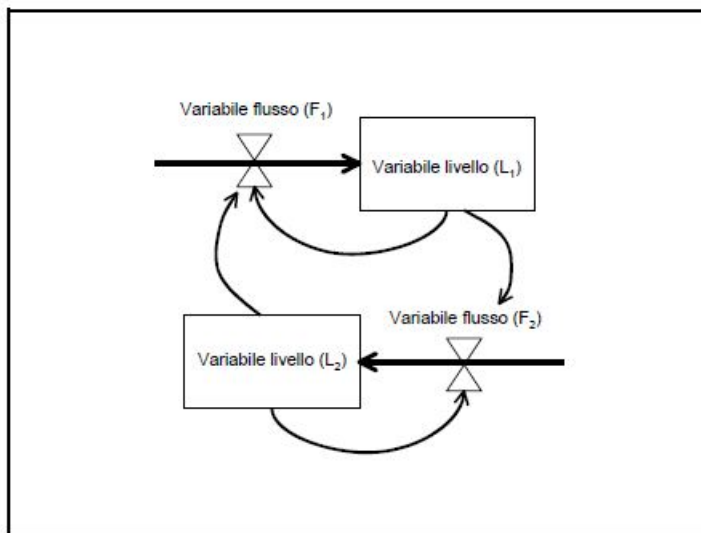


Figura 4.4: Esempio Modello

può essere descritto matematicamente dal seguente sistema di equazioni differenziali:

$$\begin{cases} \dot{L}_1 = f(L_1, L_2) \\ \dot{L}_2 = f(L_1, L_2) \end{cases}$$

Figura 4.5: Sistema equazioni differenziali

«Quindi dal punto di vista dell'analisi matematica, abbiamo visto che le variabili flusso sono le derivate rispetto al tempo delle variabili livello cui sono collegate, mentre le variabili livello sono gli integrali delle variabili flusso. Il legame che unisce questi due tipi di variabili è il processo di integrazione o, guardando l'altro lato della medaglia, la differenziazione» ( Mollona, 2008).

Di seguito l'elenco di tutte le equazioni contenute nel modello presentato



<input type="checkbox"/> Acciaio	<input type="checkbox"/> Dipendenti	<input type="checkbox"/> ProdLamCaldoloLav
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2800	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*LavSiviera	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*Lic_Pens	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*TempoRivLamCaldoloLav
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*Scorie	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*AssDip	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*LamFreddoloLav
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*CarbonePerFusione	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> LamiereDaTaglioLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*LamCaldoloLav
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*Fusione	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ProdLamFreddoloLav
<input type="checkbox"/> AcciaioLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*LavLamDaTaglioLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*VenditaLDTL	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*LamFreddoloLav
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*LavSiviera	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> LamiereLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*TempoRivLamFreddoloLav
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*ColContLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> QUATOT
<input type="checkbox"/> AcciaioProdotto	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*LamierLavPerVen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*LamPerLavTubiLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*Ric
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*ProduzioneAcciaio	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*LamLamierLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> RedditoOperativo
<input type="checkbox"/> AcciaioRivestitoLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 1000000
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*VenditaLLF	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*Ricavo
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*TempoRivLamFreddoloLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*LamierLavPerVen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*Spese
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*LavNastrilLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> LDTLVenduti	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*LavLamDaTaglioLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*PrepCarica
<input type="checkbox"/> BrammeLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*VenditaLDTL	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*AccRottame
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> LLFVendute	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Semilavorati
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*ColContLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*LamLamierLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*VenditaLLF	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*VenditaSemilavorati
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*LamCaldoloLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NastrilLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*TempoRivLamCaldoloLav
<input type="checkbox"/> Carbone	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> SemilavoratiVenduti
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*LavNastrilLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*CarbonePerFusione	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*NastrilLavPerVen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*VenditaSemilavorati
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*AcqCarbone	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*NastrilPerLavTubiLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> TLVenduti
<input type="checkbox"/> CaricaPreriscaldata	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NastrilLavFin	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*VenditaTL
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*Fusione	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*NastrilLavPerVen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> TotPezziInvenduti
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*PrepCarica	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*VenditaNLF	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/> CostoDipendenti	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NLFVenduti	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*PezziInv
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> TotPezziProdotti
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*CostoDip	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*VenditaNLF	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/> CostoMagazzino	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NumForni	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*PezziProdotti
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> TotPezziVenduti
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*CostoMag	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*AcqForni	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/> CostoMateriePrime	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ProdLamCaldoloLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*PezziVenduti
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> TubiLav
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*matorime	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*TempoRivLamCaldoloLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/> TubiLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*LamFreddoloLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*NastrilPerLavTubiLav
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*LamCaldoloLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*VenditaTL
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*NastrilPerLavTubiLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> USCITETOT	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ValoreImpianti
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*VenditaTL	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> TotImpianti
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*LamPerLavTubiLav	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> +dt*Uscite	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -dt*Ammortamento

Figura 4.6: Equazioni stock

```

AcqCarbone
  = IF((Carbone<QuanCarbone) AND TotPezziInvenduti <Mag, QuanCarbone,0)
AcqForni
  = IF(ProdRate>=0.9 AND CurvaDiMercato >=0.9 AND ForniAttivi =NumForni, 4, 0)
AcqRottame
  = IF( (Rottame<QuanRottame) AND TotPezziInvenduti<Mag, QuanRottame,0)
Ammortamento
  = IF(ValoreImpianti>0,(TotImpianti/10)/26400,0)
AssDip
  = IF(Dipendenti<DipDesiderati,Assunzioni/TempoAss, 0)
CarbonePerFusione
  = IF((CaricaPreriscaldata==(ForniAttivi*CapConvertitore)*(1-PerCarbone) AND (Carbone>=(ForniAttivi*CapConvertitore)*PerCarbone) ),((ForniAttivi*CapConvertitore)*PerCarbone/TempoDir) ,0)
ColContLav
  = IF(AcciaioLav>0,AcciaioLav/TempRaf,0)
CostoDip
  = (Dipendenti*StipendioMedioDip)/(30*TimeStepGlornaliero)
CostoMag
  = TotPezziInvenduti*CostoMagMqTm
Fusione
  = IF((CaricaPreriscaldata==(ForniAttivi*CapConvertitore)*(1-PerCarbone) AND (Carbone>=(ForniAttivi*CapConvertitore)*PerCarbone) ),((ForniAttivi*CapConvertitore)*(1-PerCarbone)/TempoDir) ,0)
LamCaldLav
  = IF(BrammeLav>0, (BrammeLav*(1-PerLamLav))/TLamCald, 0)
LamFreddoLav
  = IF(ProdLamCaldLav>0,ProdLamCaldLav*(1-PerLamFreddoLav),0)
LamiereLavPerVen
  = IF(LamiereLav>0,LamiereLav*(1-PerLamiereLav),0)
LamLamiereLav
  = IF(BrammeLav>0, (BrammeLav*PerLamLav)/TLamLamiere, 0)
LamPerLavTubilav
  = IF(LamiereLav>0,LamiereLav*PerLamiereLav,0)
LavLamDaTaglioLav
  = IF(AcciaioRivestitoLav>0,AcciaioRivestitoLav*0.5,0)
LavNastrilav
  = IF(AcciaioRivestitoLav>0,AcciaioRivestitoLav*0.5,0)
LavSiviera
  = IF(Acciaio=>CapConvSiv*NumConvSivAttivi, CapConvSiv*NumConvSivAttivi/TConvSiv,0)

```

Figura 4.7: Equazioni flussi 1/2

```

Lic_Pens
= IF(Dipendenti>DipDesiderati,(Dipendenti-DipDesiderati)/TempoAss, 0)
matprime
= AcqMatPrime-CostoDip
NastriLavPerVen
= IF(NastriLav>0,NastriLav*(1-PerCNastriLav),0)
NastriPerLavTubiLav
= IF(NastriLav>0,NastriLav*PerCNastriLav,0)
PezziInv
= PezziProdotti-PezziVenduti
PezziProdotti
= LamiereLavPerVen+LamPerLavTubiLav+LamLamDaTaglioLav+NastriLavPerVen+NastriPerLavTubiLav+TempoRivLamCaldoLav
PezziVenduti
= VenditaLDTL+VenditaLLF+VenditaNLF+VenditaSemiLavorati+VenditaTL
PrepCarica
= IF(Rottame>0, GuanRottame/TempoPrepCarica,0)
ProduzioneAcciaio
= CarbonePerFusione+Fusione
Ric
= Ricavo
Ricavo
= RicaviLDTL+RicaviLLF+RicaviNLF+RicaviTL+RicaviSemiLavorati
Scorie
= (CarbonePerFusione+Fusione)*ScoriePetTon
Spese
= IF(RedditoOperativo>=AcqMatPrime+PagRatalpanti+CostoMag, AcqMatPrime+PagRatalpanti, PagRatalpanti+CostoMag)
TempoRivLamCaldoLav
= IF(ProdLamCaldoLav>0,ProdLamCaldoLav*PerLamFreddoLav,0)
TempoRivLamFreddoLav
= IF(ProdLamFreddoLav>0,ProdLamFreddoLav,0)
Uscite
= . Spese
VenditaLDTL
= IF(LamiereDaTaglioLav>0,IF(LamiereDaTaglioLav>VenditeTimestep*PerVenditeLDTL,VenditeTimestep*PerVenditeLDTL,LamiereDaTaglioLav),0)
VenditaLLF
= IF(LamiereLavFin>0,IF(LamiereLavFin>VenditeTimestep*PerVenditeLLF,VenditeTimestep*PerVenditeLLF,LamiereLavFin),0)
VenditaNLF
= IF(NastriLavFin>0,IF(NastriLavFin>VenditeTimestep*PerVenditeNLF,VenditeTimestep*PerVenditeNLF,NastriLavFin),0)
VenditaSemiLavorati
= IF(SemiLavorati>0,IF(SemiLavorati>VenditeTimestep*PerVenditaSemiLavorati,VenditeTimestep*PerVenditaSemiLavorati,SemiLavorati),0)
VenditaTL
= IF(TubiLav>0,IF(TubiLav>VenditeTimestep*PerVenditeTL,VenditeTimestep*PerVenditeTL,TubiLav),0)

```

Figura 4.8: Equazioni flussi 2/2



- ProdDes  
= (NumForni\*CapConvertitore)/TempoDir\*TimeStepGiornaliero
- ProdRate  
= ProdAccGiorn/ProdDes
- ProduzioneMassimaMensile  
= DipDesiderati\*DesProdGiorAccDip\*30
- QuanCarbone  
= 3\*(NumForni\*CapConvertitore)\*(1-PerCarbone)
- QuanRottame  
= 3\*(NumForni\*CapConvertitore)\*(1-PerCarbone)
- RicaviLDTL  
= VenditaLDTL\*PrezzoLDTL
- RicaviLLF  
= VenditaLLF\*PrezzoLLF
- RicaviNLF  
= VenditaNLF\*PrezzoNLF
- RicaviSemiLavorati  
= VenditaSemiLavorati\*PrezzoSemiLavorati
- RicaviTL  
= VenditaTL\*PrezzoTL
- Tempo  
= TIME
- TempoAss  
= GiorniNecAss\*TimeStepGiornaliero
- TLamCaldo  
= IF(PerProd<=0.5, 2500000000000000000, 3/PerProd)
- TLamLamiere  
= IF(PerProd<=0.5, 2500000000000000000, 1/PerProd)
- TotImpianti  
= (ValoreConvertitori\*(NumForni+NumConvSiv))
- VenditeTimestep  
= ((CurvaDiMercato\*ProduzioneMassimaMensile)/UnitàMensile)

Figura 4.10: Equazioni variabili 2/2

- |                                    |                                  |
|------------------------------------|----------------------------------|
| ◇ CapConvertitore<br>= 70          | ◇ PerVenditeTL<br>= 0.14         |
| ◇ CapConvSiv<br>= 45               | ◇ ScoriePetTon<br>= 0.1          |
| ◇ CostoMagMqTm<br>= 0.0013         | ◇ StipendioMedioDip<br>= 2800    |
| ◇ DesProdGiorAccDip<br>= 3         | ◇ TConvSiv<br>= 3                |
| ◇ GiorniNec.Ass<br>= 30            | ◇ TempoDir<br>= 4                |
| ◇ Mag<br>= 200000                  | ◇ TempoPrepCarica<br>= 12        |
| ◇ PerCarbone<br>= 0.10             | ◇ TempRaf<br>= 2                 |
| ◇ PercLamiereLav<br>= 0.2          | ◇ TimeStepGiornaliero<br>= 96    |
| ◇ PercNastrilLav<br>= 0.2          | ◇ UnitàMensile<br>= 2780         |
| ◇ PerLamFreddoLav<br>= 0.4         | ◇ ValoreConvertitori<br>= 500000 |
| ◇ PerLamLav<br>= 0.3               |                                  |
| ◇ PerVenditaSemilavorati<br>= 0.18 |                                  |
| ◇ PerVenditeLDTL<br>= 0.13         |                                  |
| ◇ PerVenditeLLF<br>= 0.45          |                                  |
| ◇ PerVenditeNLF<br>= 0.1           |                                  |

Figura 4.11: Equazioni stock

# Bibliografia

[J. Newton Friend Man and the chemical elements II ed. C. Griffin & C. Ltd, London 1951]

[Claudio Giardino I metalli nel mondo antico II ed. Laterza 1999 ]

[J. Edward Vickers A popular history of Sheffield Applebaum 1992 ]

[Margherita Balboni Storia della siderurgia Italiana 1990]

[Edoardo Mollona Strategia complessità risorse 2008]

[ruggialdi <http://digilander.libero.it/ruggialdi/chim/chimi16.html>]

[wikipedia [www.wikipedia.it](http://www.wikipedia.it) 2012]

[APAT Rapporto sull'ambiente 2010]

[Beltrame Report annuale 2010 2010]

[Tata Steel report annuale 2010/2011 2012]

[Enciclopedia on line Treccani [www.Treccani.it](http://www.Treccani.it) 2012]

[Software Powersim construction model 2010]

[Report acciaierie 2003]

[<http://www.lombardiabeniculturali.it/scienza-tecnologia/schede/ST080-00012/>]

[<http://www.electroyou.it/asdf/wiki/i-forni-fusori-elettrici>]

[pdf Accieiria Terni]

[Andamento prezzo carbone, <http://www.dani2989.com/matiere1/coal1109it.html>]

[[www.federacciai.it](http://www.federacciai.it), 2012]

# Ringraziamenti

Innanzitutto vorrei ringraziare il prof. Edoardo Mollona per la sua immensa pazienza avuta in questi due anni nei quali ho sviluppato questa tesi, e senza il quale sarebbe stato tutto più complicato. Volevo ringraziare Vincenzo D'Onofrio per aver collaborato agli arbori della tesi ed essere stato sempre più che un collega in questi due anni. Un grazie a tutti i professori del corso di laurea che hanno permesso il raggiungimento di quest'importante tappa della mia vita. Un grazie anche a tutti gli amici conosciuti in questo periodo 'bolognese', sia all'interno dell'università (Ilario Iuso, Simone Chiaromonte, Bruno Buccarella) che esterni (Fabrizio Ciciarella, Gianluca Poggio, Giacomo Celeste). Un grazie enorme alla mia famiglia, mamma Mariella, babbo Vincenzo e mio fratello Guido. Grazie a te mamma perchè in tutta la mia vita sei sempre stata una figura di riferimento fondamentale. Grazie a te 'babbo' perchè anche se non fai sentire spesso la tua presenza, so che infondo ti interessi sempre a ciò che faccio e anche se a modo tuo ci sei sempre. Grazie a Guido, mio fratello, nonostante siamo come cane e gatto, e hai il tuo modo di vedere le cose, che vita sarebbe senza un fratello? Io sono orgoglioso di avere te. Infine, non per ordine d'importanza, ringrazio la mia ragazza, Ekaterina Zakharova, per essermi stata sempre vicina in ogni momento ed avermi sempre sostenuto. Sai che senza te sarebbe tutto estremamente più difficile e sei diventata da 3 anni a questa parte una figura fondamentale nella mia vita. Un grazie a tutti coloro, che per spazio non ho citato, grazie a tutti.