

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:
L'ALTOFORNO**

Tesi di Laurea in Analisi dinamica dei sistemi aziendali

Relatore:
Chiar.mo Prof.
EDOARDO MOLLONA

Presentata da:
VINCENZO D'ONOFRIO

Sessione III
Anno Accademico 2010/2011

Indice

1	System Dynamics	2
1.1	Storia System Dynamics	2
1.2	Cos'è la System Dynamics	4
1.2.1	I circuiti di retroazione	5
1.2.2	Variabili flusso e variabili di livello	6
1.2.2.1	Relazione Matematica tra le variabili di flusso e di livello	7
1.2.2.2	Variabili di flusso e livello nelle aziende	8
1.2.3	Le funzioni decisioni	10
2	Il Ciclo Produttivo dell'Acciaio	12
2.1	Evoluzione Storica	12
2.1.1	Processo produttivo	16
2.1.2	Colata continua	21
2.1.3	Colata in fossa	22
2.1.4	Laminazione	23
2.1.4.1	laminazione a caldo	24
2.1.4.2	laminazione a freddo	26
2.2	Il mercato mondiale e europeo	27
3	Validazione del modello	30
3.1	Modello Vs Report annuale TATA Steel	43
4	Analisi	48
4.1	Prima simulazione: scelta del numero di altoforni in base alla domanda	49
4.2	Seconda simulazione: uso del magazzino	61
4.3	Terza simulazione: percentuale di ghisa in base ai prezzi e al grado di utilizzo degli altoforni	70
5	Conclusioni	79
6	Equazioni del Modello	89

Capitolo 1

System Dynamics

1.1 Storia System Dynamics

Si può collocare la nascita della System Dynamic (SD) durante la seconda guerra mondiale, quando due studiosi sul controllo dei circuiti di retroazione del Massachusetts, Jay Forrester e Gordon Brown, concentrarono i propri studi sullo sviluppo di simulatori di volo e sui sistemi di controllo di antenne e cannoni. Tali progetti portarono, dopo la guerra, alla nascita del SAGE (Semi-Automatic Ground Environment), un sistema di difesa aerea basato sullo sviluppo sperimentale di sistemi informativi da utilizzare in combattimento (Mollona 2008). Le vere e proprie basi del SD furono però gettate quando nel 1956 Forrester entrò a far parte del MIT la Sloan School of Management, nata pochi anni prima, abbandonando il dipartimento di ingegneria. Con l'aiuto di altri ricercatori venne prima sviluppato un modello matematico e in seguito un vero e proprio programma (DYNAMO) per spiegare ad una azienda, la General Electric, i motivi che si celavano dietro l'alternarsi della capacità produttiva del campo degli elettrodomestici, dovuta, a suo avviso, alla struttura aziendale che rallentava il processo decisionale (Mollona 2008). Partendo da questo programma si ebbe la possibilità di costruire e simulare altri modelli, cosicché Forrester poté sviluppare in maniera sistematica la sua metodologia di analisi dei comportamenti aziendali basata sull'applicazione al management delle teorie sui servomeccanismi e sul controllo dei circuiti di retroazione con la pubblicazione di un manuale (Industrial Dynamics, 1961). L'equipe di lavoratori a cui era a capo Forrester al MIT crebbe velocemente e divenne sempre più importante, suscitando a volte

anche feroci critiche per alcuni studi portati a termine (Mollona 2008). In particolare possiamo menzionare uno studio condotto sulla costruzione delle abitazioni per le classi meno abbienti (Urban Dynamics, 1969) che faceva sorgere fortissimi dubbi sulla effettiva utilità a lungo termine di molte delle politiche che caratterizzavano l'intervento pubblico nelle grandi città statunitensi. Perché l'SD giunga anche in Italia bisogna attendere gli anni '70, quando 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 la supervisione di Forrester, si occupò di un progetto di ricerca incentrato sulla sostenibilità dello sviluppo economico sul nostro pianeta (Mollona 2008). Venne così costruito un modello di simulazione per studiare le prospettive di sviluppo e illustrare una serie di possibili scenari futuri (World Dynamic, 1971). In questo studio venne spiegata l'evoluzione del «sistema-mondo» analizzando l'interazione tra tre sotto-sistemi:

- il sistema della produzione industriale
- il sistema della popolazione umana, con le dinamiche demografiche che lo caratterizzano
- il sistema della produzione agricola.

Negli studi di Forrester, *«l'enfasi non era tanto sulla capacità del modello di prevedere particolari stati puntuali del sistema o sul rigore con cui le ipotesi del modello erano state testate empiricamente quanto sulla possibilità che il modello offriva di comprendere la logica con cui le variabili rilevanti interagiscono, il ruolo che ciascuna di esse gioca, i punti in cui il sistema è sensibile agli interventi e gli scenari che emergono come conseguenza di ipotesi alternative circa lo stato del sistema»* (Mollona 2008). Sebbene questi citati siano solo alcuni dei progetti ai quali è stato impegnato nei suoi anni di attività da Forrester, tuttavia si ritengono particolarmente importanti perché fondamentali nella crescita della metodologia SD. Il successo di Forrester fu alla base dello sviluppo di un filone di studi e ricerche molto importante che portò alla nascita del System Dynamics Group del MIT fondamentale per la diffusione dell'SD e tra i cui ricercatori ricordiamo ad esempio Peter Senge (La Quinta Disciplina, 1990), John Sterman, che utilizzò i principi del SD per studiare problemi legati ai processi decisionali nelle aziende e 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 (Mollona 2008). Bisogna poi sottolineare come lo sviluppo del SD è stato via via agevolato dal continuo sviluppo della tecnologia informatica e dall'incremento delle capacità computazionali dei moderni calcolatori. Nei primi anni infatti 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 (Mollona 2008).

1.2 Cos'è la System Dynamics

«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'influenzarne i fenomeni dinamici che si basa su due concetti fondamentali» (Mollona 2008):

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

Andando nel particolare possiamo dire che vi è un circuito di retroazione ogni volta che lo stato del sistema genera una azione che determina un cambiamento dello stato originale del sistema fungendo da base per le decisioni future (Mollona 2008). Lo studio nell'ambito dell'SD è legato a due ipotesi fondamentali:

- dall'intreccio di processi decisionali, flussi informativi e relazioni interpersonali all'interno delle aziende, emergono strutture costituite da circuiti di retroazione concatenati
- i comportamenti dei sistemi sono la conseguenza delle caratteristiche strutturali che assumono tali aggregazioni di circuiti di retroazione che regolano il "tasso" (rate) di accumulazione o erosione delle variabili livello (stock) in essi compresi (Mollona 2008).

1.2.1 I circuiti di retroazione

In ogni caso non basta la breve descrizione fin qui fatta per spiegare a fondo cosa sia il SD e cosa sia in grado di fare. Il fondatore del SD, Forrester, sosteneva che, «*i circuiti di retroazione definiscono un sistema in cui lo stato stesso del sistema fornisce informazioni che aiutano a variare lo stato del sistema stesso, quindi a plasmare azioni future*» (Mollona 2008). Questo ci fa capire l'importanza, in un circuito di retroazione di informazione, dell'ordine di tempo in cui le variabili interagiscono tra di loro influenzandosi vicendevolmente. I circuiti di retroazione descritti precedentemente, inoltre, sono composte da due tipi di variabili:

1. variabili di livello
2. variabili di flusso.

Le prime rappresentano lo stato del sistema di partenza da cui partono i flussi di informazione e sono utilizzate per definire una decisione, la quale andrà a stimolare un'azione. Una variabile flusso partendo dalle informazioni contenute nelle variabili di livello hanno le informazioni necessarie per cambiarne lo stato (Mollona 2008). A questo punto è molto semplice capire come le variabili livello siano fondamentali per la descrizione dello stato di un modello non solo infatti ne descrivono lo stato attuale e passato ma sono fondamentali in quanto proprio su di esse saranno effettuate le future decisioni (Mollona 2008).

1.2.2 Variabili flusso e variabili di livello

Questi termini sono utilizzati in quanto rappresentano la metafore di un contenitore liquido, ad esempio la vasca (Livello) e la valvola (flusso) tramite la quale il contenitore stesso si riempie e si svuota. Ad esempio, nel caso si voglia riempire una vasca da bagno è necessario aprire il rubinetto per farne aumentare il livello nella vasca, nel caso opposto bisognerà aprire quella di scarico per far defluire gradualmente l'acqua.

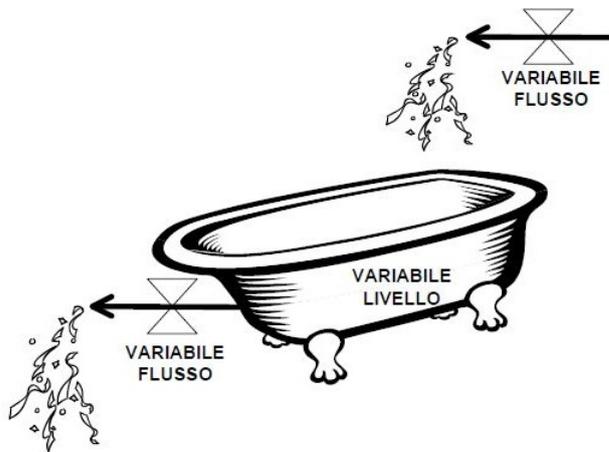


Figura 1.1: Variabili di livello e flusso

Si nota come il livello dell'acqua possa variare solo tramite aggiunte o deflussi di acqua, e nel caso si voglia riempirla o svuotarla più o meno velocemente bisognerà aumentare o diminuire il flusso in entrata o in uscita (Mollona 2008).

1.2.2.1 Relazione Matematica tra le variabili di flusso e di livello

In merito alla relazione matematica tra le variabili di livello (L) e le variabili di flusso (F) possiamo dire che queste ultime rappresentano il tasso di cambio delle prime (Mollona 2008):

$$Livello_{t+1} + Flusso \cdot \Delta t$$

con Δt che rappresenta il tempo che intercorre tra i 2 successivi aggiornamenti della variabile di livello (Mollona 2008). Nel caso però si vogliono considerare processi in cui la variabile di livello si aggiorna di continuamente si può introdurre la seguente notazione:

$$\frac{(Livello_t - Livello_{t-\Delta t})}{\Delta t} = Flusso$$

Considerando poi intervalli infinitamente piccoli, con Δt che tende allo 0, otteniamo la seguente derivata:

$$Lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{Livello_t - Livello_{t-\Delta t}}{\Delta t} \right) = \frac{d(Livello)}{dt} = Flusso$$

Partendo $\frac{d(Livello)}{dt}$ e integrando da ambo le parti si ottiene che il valore della variabile di livello in ogni istante sarà (Mollona 2008):

$$\int_{t_0}^t \frac{d(L)}{dt} = \int_{t_0}^t F$$

e

$$L_t = L_0 + \int_{t_0}^t F \cdot dt$$

1.2.2.2 Variabili di flusso e livello nelle aziende

Per quanto riguarda le aziende le variabili di livello sono rappresentate dagli stock. Infatti nel corso del tempo esse acquistano e accumulano, materie prime, immobili, redditi, conoscenze. Queste risorse, che possono essere definite come condizioni di produzione, sono poi quelle che andranno nel futuro ad influenzare positivamente o meno lo sviluppo dell'azienda (Mollona 2008). Esse infatti rappresentano il risultato di decisioni passate, sono la base per decisioni future e rappresentano il patrimonio, tangibile e intangibile, dell'azienda in quel dato istante. Inoltre la loro variazione non è istantanea ma il frutto di addizioni o sottrazioni di determinate quantità, rappresentano per questo anche dei punti di inerzia nella dinamica del sistema aziendale (Mollona 2008). Il termine condizioni di produzione sta ad indicare anche tutte quelle condizioni intangibili, come ad esempio la motivazione dei dipendenti o particolari conoscenze acquisite, che concorrono allo svolgimento dell'attività economica futura (Mollona 2008). Questi elementi essendo difficilmente imitabili dalle altre aziende e sono spesso fondamentali per creare le basi della capacità competitiva di un'azienda. Essi sono:

1. difficilmente osservabili
2. risultato di complesse dinamiche che richiedono moltissimi anni per essere accumulate.

Pensiamo ad esempio alle costosissime campagne pubblicitarie della Nike fatte proprio a scopo di immagine. D'altro canto essa può essere erosa ad esempio con il passare del tempo o nel caso di eventi negativi, come la notizia, per quanto riguarda la Nike, dello sfruttamento del lavoro minorile (Mollona 2008). Molto interessante è il caso della IBM. Negli anni 90 infatti divenne una delle aziende più importanti per quanto riguarda i servizi e l'internet. Questo risultato però fu il frutto di 6 anni e 2 miliardi di dollari per costruire l'immagine dell'IBM. La seguente figura (1.2) mostra il processo che ha permesso all'IBM di costruire la propria immagine di leader (Mollona 2008). Alcuni eventi, come le campagne pubblicitarie, contribuiscono ad azionare le variabili flusso. Per esempio i due slogan: 'soluzioni per un piccolo pianeta' e 'e-business' sono responsabili dell'attivazione della variabile di flusso Investimenti in marketing, che ha poi concorso all'accumulazione dell'immagine (Mollona 2008). La pressione che viene esercitata dagli

altri competitor, il passare del tempo e l'utilizzo del marchio per la commercializzazione di prodotti non coerenti, d'altro canto, sono avvenimenti che, invece, contribuiscono ad intaccare l'immagine del leader (Mollona 2008). Questi ultimi contribuiscono al flusso in uscita che possiamo chiamare Erosione dell'immagine. Si può ipotizzare invece, nel caso delle competenze tecnologiche, lo sviluppo dello stock «Competenze tecnologiche legate a internet» sia il risultato dell'accumulazione della variabile flusso Investimenti in R&S. Gli investimenti sono il volano della crescita delle competenze e conoscenze con il passare degli anni (Mollona 2008). Tali risorse possono essere usate ad esempio per finanziare ricercatori che si occupino di particolari attività o per la realizzazione di prototipi o progetti pilota. L'erosione dello stock invece può essere provocato da innovazioni, che rendono vecchie le competenze tecnologiche esistenti o l'introduzione di standard tecnologici (Mollona 2008).

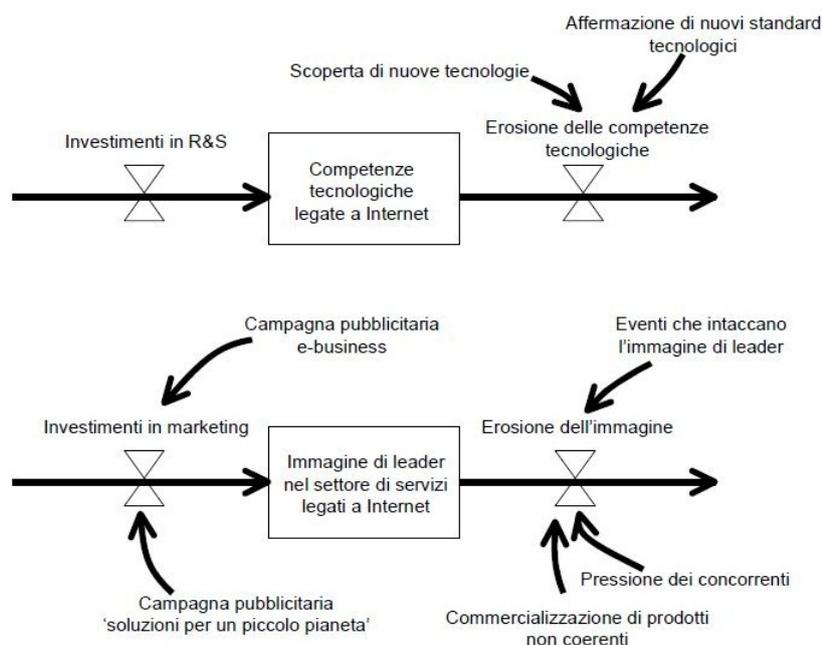


Figura 1.2: Esempio campagna marketing IBM

1.2.3 Le funzioni decisioni

Oltre alle variabili di flusso e alle variabili di livello vi è un ulteriore elemento fondamentale nei circuiti di retroazione: la funzione decisione. Essa contiene le indicazioni necessarie per l'azione delle variabili flusso (Mollona 2008). Possiamo distinguerle in due classi:

- La prima contenente tutti quei processi che possono essere definiti come necessari o fisiologici (Figura 1.3) ovvero non legati ad una decisione cosciente da parte di un operatore. Ad esempio il grado di utilizzo e l'età media degli impianti che determina il tasso di obsolescenza fisica degli stessi. In questo modo il modello riproduce la dinamica di un processo di obsolescenza fisica che non implica nessuna decisione cosciente (Mollona 2008).

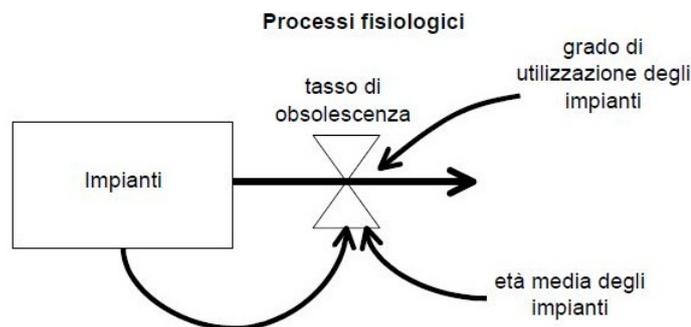


Figura 1.3: Processi fisiologici

- La seconda relativa alle funzioni di decisione(Figura 1.4) che servono a modellare quelle attività e operazioni vere e proprie riproducendo quindi veri processi decisionali(routine decisionali). In questo caso il flusso di assunzione dei dipendenti è una decisione vera e propria, influenzata dalle informazioni relative alla produttività dei dipendenti, dalla domanda attesa e dal livello produttivo desiderato (Mollona 2008).

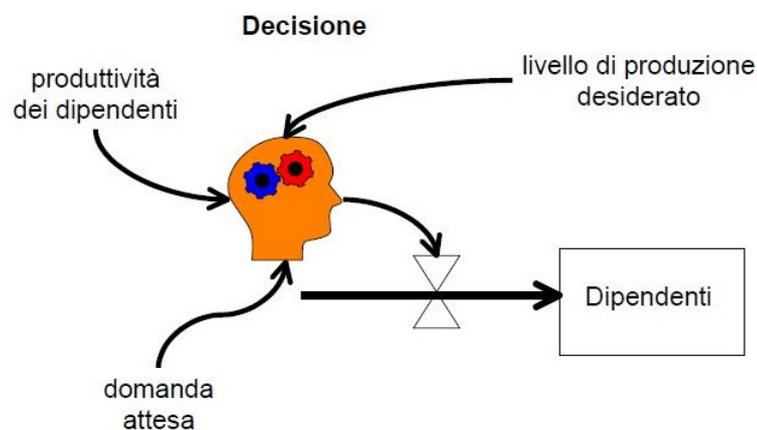


Figura 1.4: Funzione decisione

Capitolo 2

Il Ciclo Produttivo dell'Acciaio

2.1 Evoluzione Storica

L'arte di produrre i metalli e le loro leghe a partire dai minerali, ovvero la metallurgia, ha le sue radici sin dalla preistoria, tanto che alcuni metalli danno il nome a delle ere. Il collegamento immediato è con "L'era del ferro" (1200 a.C.), anche se i primi manufatti e utensili risalgono addirittura al 4000 a.C. I primi a farne uso furono i Sumeri e gli Ittiti, che già 4000 anni prima di Cristo lo usavano per piccoli oggetti come punte di lancia e gioielli ricavati dal ferro recuperato da meteoriti (Talamonti 2005). Il ferro è un metallo di colore argentato, morbido e con proprietà magnetiche, che a contatto con l'aria umida reagisce con la formazione di ruggine. Il ferro non viene mai usato allo stato puro, viene infatti messo in lega con il carbonio per la produzione acciai o ghise, che a seconda della quantità di carbonio hanno caratteristiche diverse, con l'ulteriore aggiunta di altri metalli originano una serie infinita di leghe ferrose con una serie di vastissime proprietà (Talamonti 2005). Il ferro è il metallo più abbondante all'interno della Terra (costituisce il 34,6% della massa del nostro pianeta) e si stima che sia il decimo elemento per abbondanza nell'intero universo, d'altro canto la sua lavorazione è resa complicata dall'elevata temperatura di fusione (1540°C) che ne differenzia notevolmente il ciclo produttivo rispetto a quello degli altri metalli (Talamonti 2005). Nelle prime fasi la metallurgia nacque e si alimentò in maggior parte grazie a prove e tentativi, molto spesso tutt'altro che consapevoli. In seguito ci si avvale delle conoscenze scientifiche ma tutt'oggi gli esperimenti rivestono un ruolo importantissimo. Oltre ai già citati Assiri e Ittiti, altre popolazioni apprezzarono e tentarono di lavorare il ferro. Babilonesi ed Egizi,

infatti intorno al 4000 a.C. iniziarono a lavorare il ferro delle meteoriti, cadute sul suolo terrestre, ricavandone piccoli oggetti quali fibbie, spille e decorazioni varie (Talamonti 2005). Le temperature con le quali avvenivano questi processi erano molto basse e il ferro che si otteneva non era raffinato. Solo moltissimi anni dopo, intorno al 1500 a.C., gli Ittiti iniziarono a ricavare il nuovo metallo da alcuni minerali molto abbondanti in natura, modificando leggermente i metodi fino ad allora utilizzati per produrre rame e bronzo. Dopo poco anche Persiani, Cinesi ed Indiani adottarono a loro volta tecniche similari (Talamonti 2005). Nel lasso di tempo che va dal 1000 a.C. fino all'era Cristiana Fenici, Greci, Etruschi, Cartaginesi ed infine i Romani riuscirono far progredire ulteriormente l'arte dell'estrazione del ferro dai minerali, tanto da diventare in epoca romana di uso comune. In questo modo, a poco a poco i popoli dell'Europa scoprirono l'utilizzo sempre più massiccio degli strumenti in ferro, la cui produzione iniziava a diffondersi a macchia d'olio. I primi forni utilizzati per trattare il minerale, a partire dal 1500 a.C., furono detti bassifuochi. Essi erano semplicemente dei focolari ricavati nel terreno in cui vi erano i minerali di ferro alternati a strati di legna o di carbone di legna (Talamonti 2005). Nella base del focolare veniva realizzato una fessura attraverso la quale era possibile ottenere una combustione naturale, grazie al un tiraggio naturale, indispensabile per ottenere il calore ed i gas che servivano al processo chimico di riduzione dagli ossidi di ferro al metallo vero e proprio, che in quel periodo veniva ancora estratto in forma di blocchi ed ammassi spugnosi (Talamonti 2005). Tale materiale, assorbendo piccole quantità di carbonio dalla combustibile poteva già definirsi acciaio.

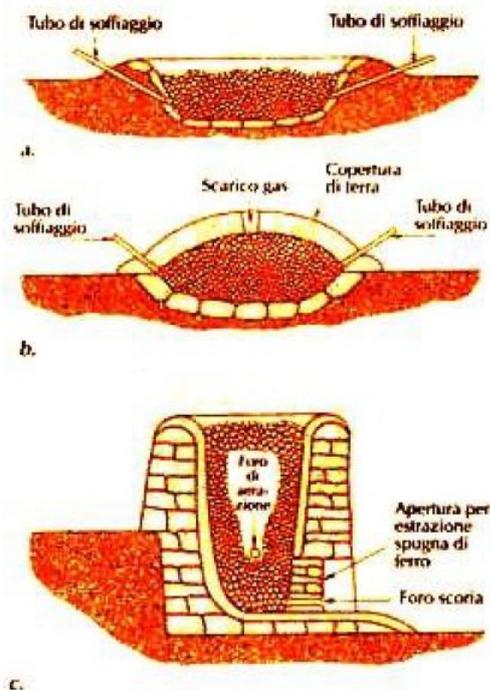


Figura 2.1: Evoluzione della produzione di acciaio

Durante il medioevo i processi di combustione non subirono moltissimi miglioramenti, ad ogni modo in tale periodo vennero utilizzati i primi focolari non più scavati nel terreno, ma sviluppati verso l'alto con muri di pietra. Un grosso passo in avanti però si ebbe intorno all'anno 1000 d.C. in Germania e in Austria: fu la comparsa dei primi STUCKOFEN, che erano fornaci alte fino a 5 metri che riuscivano anche nella produzione della ghisa liquida, oltre che i soliti blocchi spugnosi di acciaio. A partire dal XV secolo con l'ulteriore miglioramento della costruzione delle fornaci nacquero i cosiddetti FLOSSOFEN, prototipi dei moderni altoforni, che permettevano la produzione di sola ghisa liquida. La ghisa ha un punto di fusione più basso del ferro, quindi diventa liquida prima (Talamonti 2005). Di contro però la ghisa ha bisogno di un secondo stadio di lavorazione per esser trasformata in acciaio, l'operazione di base è la decarburazione. Nonostante i potenziali vantaggi, la fabbricazione della ghisa rimase molto limitata fino al XVIII secolo, per la scarsità del carbone da legna, sia dovuta alle leggi emanate in quel periodo per la protezione delle foreste, sia perché non potevano essere usati i carboni fossili per la presenza in essi di elementi volatili e dello zolfo che provocavano un

forte inquinamento del metallo (Talamonti 2005). Tale problematica venne risolta con l'invenzione da parte dell'inglese Darby della cokenizzazione del carbon fossile, questo porto due vantaggi principali:

- aumento della potenzialità di produzione
- aumento del rendimento del ferro prodotto.

Un ulteriore grande passo in avanti fu realizzato con l'introduzione delle macchine a vapore per azionare le soffianti, questo infatti non rendeva necessaria l'ubicazione nelle vicinanze di corsi d'acqua, e il preriscaldamento del vento. Tale innovazione raddoppiò la potenzialità produttiva e dimezzò il consumo di carbone. Gibbons nel 1839 apportò alcune modifiche significative:

- sezione circolare
- crogiolo cilindrico
- forma conica con svasatura verso l'alto per la sacca
- minore pendenza della sacca
- aumento diametro del crogiolo
- bocca di carico molto ampia.

Lo sviluppo del processo tradizionale è solo una delle due tecnologie attualmente disponibili, un secondo processo fu sviluppato a livello industriale solo a partire dal XIX secolo e si basa sull'utilizzo dell'energia elettrica per la fabbricazione dell'acciaio. Essa ha il vantaggio di riciclare gli scarti metallici provenienti dall'industria e dai consumi sociali (Talamonti 2005).

2.1.1 Processo produttivo

Il ciclo integrale che fa uso dell'altoforno (BF) negli anni è stato protagonista, di continue e drastiche evoluzioni sia per quanto riguarda la tipologia di impianti che per quanto riguarda i processi produttivi. Tale processo ha la caratteristica di avere elevati costi di investimento iniziali e costi di esercizio abbastanza bassi, con una produzione che si attesta nell'ordine dei milioni di tonnellate. Ci sono una serie di processi che sono del tutto collegati che sono necessari per la produzione di acciaio da ciclo integrato:

- la produzione di coke metallurgico
- l'estrazioni agglomerato di minerali di ferro
- la produzione di ghisa
- la produzione di acciaio con relativa colata continua.

A questi processi possono susseguirsi ulteriori fasi di trasformazione e affinazione dell'acciaio (Stefano Maggiolo, Gino Vestri, Stefania Balzamo, Marco Russo 2007). Quest'ultimi inoltre portano anche alla produzione di energia elettrica e/o vapore ciò grazie ai gas prodotti lungo tutto il processo (gas di cokeria, gas di altoforno, gas di acciaieria). Le materia prime, in particolare i minerali di ferro ed i carbon fossili, giungono allo stabilimento di produzione su grandi linee di trasporto a nastro e dopo essere stoccati nello stabilimento nei cosiddetti parchi di polmonazione, sono inviati nei cicli produttivi. Al contrario il calcare proviene dalla estrazione in cave locali. Sono essenzialmente questi i tre «ingredienti» necessari alla preparazione della carica. Il coke è uno degli elementi più importanti in quanto all'interno del processo e svolge 4 principali funzioni (Stefano Maggiolo, Gino Vestri, Stefania Balzamo, Marco Russo 2007):

- sviluppa il gas riducente necessario alla trasformazione degli ossidi di ferro in ferro metallico
- fornisce il carbonio necessario per la carburazione della ghisa e per la riduzione di alcuni elementi di lega

- sostiene il peso del materiale caricato fino alla parte bassa dell'altoforno
- fornisce il calore necessario alla fusione dei minerali.

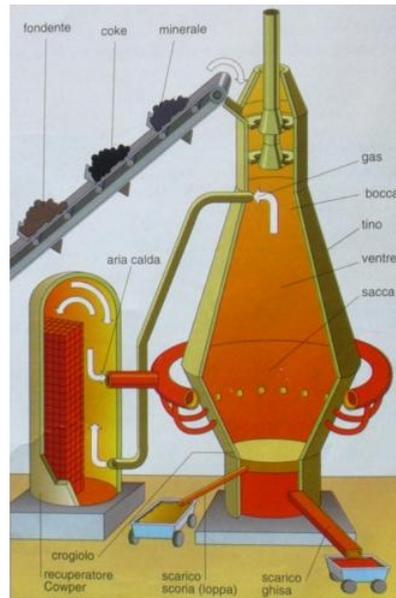


Figura 2.2: Altoforno schematizzato

L'altoforno, schematizzato (figura 2.2), è un forno a tino, alto circa 27-30 m, in cui viene fuso il minerale di ferro. Nella parte superiore dell'altoforno sono situate le apparecchiature per la carica e la distribuzione dei materiali (campane), oltre che la captazione ed il convogliamento dei gas che escono dalla bocca del forno. Nella parte bassa della sacca vengono inseriti gli ugelli iniettori dell'aria preriscaldata convogliata grazie ad un distributore toroidale. A livello inferiore, sotto la sacca, c'è il crogiuolo e, ancora più giù, vi sono i fori per l'evacuazione della loppa che si raccoglie in superficie e, nella parte ancora più bassa, per la colata della ghisa (APAT 2004). Ovviamente il funzionamento del forno è continuo. Quest'ultimo viene caricato dall'alto con minerale di ferro, solitamente ossido di ferro come l'ematite, coke e calcare alternando gli strati. Durante la lenta discesa della carica nel tino avvengono le reazioni di ossido riduzione degli ossidi di ferro grazie al gas riducente che attraversa la carica dal basso verso l'alto. Esso si forma nella parte inferiore dell'altoforno, nella parte delle tubiere, grazie alla combustione del coke con il

vento insufflato (Stefano Maggiolo, Gino Vestri, Stefania Balzamo, Marco Russo 2007). Il calcare a questo punto diventa calce viva, ciò produce due effetti principali:

- favorisce la fusione del ferro
- la calce si combina con le impurezze presenti nel minerale di ferro originando la ganga.

A livello delle tubiere viene soffiato il vento caldo costituito da aria preriscaldata nei cowpers, arricchita con ossigeno. La reazione del coke con quest'ultimo elemento dà origine ai gas riducenti. Inoltre di solito in corrispondenza delle tubiere nei moderni altoforni viene anche insufflato carbon fossile polverizzato, combustibili, oli usati, ecc... La tecnica di iniezione di carbon fossile polverizzato rappresenta un'evoluzione dell'ultimo decennio, e permette di ridurre drasticamente il fabbisogno di coke nel processo di fabbricazione, portando due vantaggi principali sia dal punto di vista energetico che ambientale (Stefano Maggiolo, Gino Vestri, Stefania Balzamo, Marco Russo 2007). I gas vengono recuperati nella parte alta del forno e dopo opportune depurazioni vengono utilizzati come combustibili. La produzione della ghisa avviene nella parte inferiore dell'altoforno, dove le temperature sono altissime. Assieme ad essa vi è la formazione della ganga dei minerali che insieme alle ceneri di coke ed ai fondenti, costituisce la loppa. Sia la ghisa prodotta che la loppa vengono evacuate attraverso un foro di colata, situato in corrispondenza della parte bassa dell'altoforno. Una volta raccolti in un canale principale di colaggio, rivestito in refrattario, la ghisa e la loppa si separano grazie ai differenti pesi specifici, e vengono convogliati in due canali di colaggio differenti (rigola ghisa e rigola loppa). Gli altoforni moderni hanno una produzione di oltre 10.000 t giornalieri, con un consumo di coke di 900 kg per ogni tonnellata di ghisa prodotta. La trasformazione della ghisa avviene attraverso il processo di ossidazione del carbonio, che permette di ridurre la concentrazione in modo da ottenere l'acciaio con le quantità desiderate di carbonio ($0,06 \leq C \leq 0,6$). Tale processo di affinazione avviene nei convertitori ad ossigeno.



Figura 2.3: Forno AOD fase di spillaggio

Degno di nota è sicuramente il processo Linz-Donawitz (processo LD). Tale processo di affinazione della ghisa (convertitore ad ossigeno), oltre ad essere il più importante è uno dei più diffusi del mondo, e realizza l'ossidazione su citata mediante insufflazione di ossigeno puro nella ghisa fusa. Il processo LD ha sostituito il processo Martin-Siemens (noto anche come Open-Hearth fornace o OH) proprio perché presenta numerosi vantaggi rispetto ad esso:

- minori spese di impianto
- minori spese di trasformazione
- elevate velocità di reazione dovute al contatto tra ossigeno e metallo che lo rendono 10 volte più veloce del Martin-Siemens.

Nel convertitore ad ossigeno, il calore generato dalla combustione del carbonio viene sfruttato per fondere il rottame di ferro, che viene introdotto nel convertitore stesso, in modo da aumentare la quantità di acciaio prodotto (APAT 2004). I convertitori ad ossigeno possono supportare però una bassa quantità di rottame di ferro (30%-40%), soprattutto per quanto riguarda l'impatto ambientale del processo fusorio. Gli impianti a ciclo integrato, di solito completati con linee di laminazione continua, hanno grandi dimensioni, basti pensare che in Italia il 40% della produzione di acciaio (oltre 10 Mt/anno) viene realizzata in 4 siti produttivi, mentre il restante 60% (circa 16 Mt/a) viene prodotto col forno elettrico in circa 40 (APAT 2004). Gli impianti a ciclo integrato producono:

- prodotti piani (coils)
- prodotti lunghi (profilati, tubi, vergella, filo, ecc)
- prodotti semi finiti (brame, billette etc.).

2.1.2 Colata continua

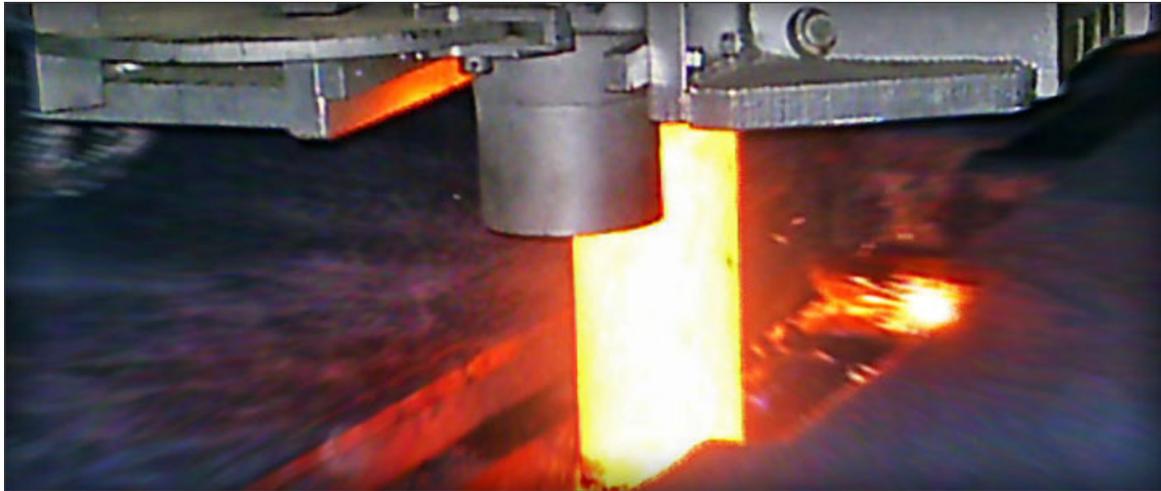


Figura 2.4: Colata continua

L'acciaio, dopo essere stato lavorato in siviera, ancora liquido, viene solitamente colato in continuo. Tale processo consente il colaggio dell'acciaio in un flusso continuo di billette, blumi, bramme, ecc. L'acciaio spillato in siviera è distribuito a flusso controllato in lingottiere di rame opportunamente raffreddate ad acqua (Stefano Maggiolo, Gino Vestri, Stefania Balzamo, Marco Russo 2007). La lingottiera, lubrificata con polveri od oli vegetali, oscilla a velocità superiore rispetto alla colata, questo per prevenire il fenomeno della pelle di acciaio solidificato. L'acciaio solido viene ulteriormente raffreddato attraverso spruzzi di acqua. A solidificazione completa le barre vengono dimensionate con sistemi automatici di taglio a ossigas o mediante sistemi meccanici, cesoie idrauliche (Stefano Maggiolo, Gino Vestri, Stefania Balzamo, Marco Russo 2007).

2.1.3 Colata in fossa

Con la colata in fossa si producono dei lingotti di diverse forme (quadrata, rettangolare, poligonale, circolare) e pesi variabili da 2 a 400 ton (Stefano Maggiolo, Gino Vestri, Stefania Balzamo, Marco Russo 2007). Il riempimento delle lingottiere può avvenire per:

- colaggio diretto
- colaggio in sorgente
- colata sotto pressione

Il colaggio diretto suppone che i lingotti vengano colati singolarmente, uno dopo l'altro. Il colaggio in sorgente consente invece, *«di riempire contemporaneamente più lingotti attraverso una tubazione refrattaria verticale che termina ad imbuto, nella quale si immette l'acciaio liquido che passa poi in una raggiera di altri tubi refrattari orizzontali che alimentano ciascuno una lingottiera»* (Stefano Maggiolo, Gino Vestri, Stefania Balzamo, Marco Russo 2007). In questo modo è possibile colare più lingotti allo stesso tempo, usando semplicemente il principio dei vasi comunicanti. La siviera, inoltre, necessita di due operazioni di riscaldamento diverse:

- il primo, dopo il rifacimento del rivestimento refrattario, necessario per l'essiccazione e per la "cottura" del materiale refrattario, a temperature programmate.
- i successivi riscaldamenti sono necessari:
 - per il mantenimento del materiale refrattario a temperature idonee ad evitare l'assorbimento di umidità
 - per lo svolgimento in maniera corretta delle operazioni di spillaggio del metallo.

Le scorie vengono raccolte in un'area ben definita detto parco scoria. In questa area, dopo il raffreddamento naturale o aiutato con acqua, vengono effettuate le operazioni di frantumazione e deferrizzazione, a questo punto la scoria è pronta per essere trasportata in discarica o se possibile riutilizzata.

2.1.4 Laminazione

La laminazione consiste nel trasformare l'acciaio, ormai solidificato, in un prodotto finito. Ci sono due tipi di laminazione:

1. Laminazione a caldo
2. Laminazione a freddo

2.1.4.1 laminazione a caldo



Figura 2.5: Laminazione a caldo

«I processi di laminazione a caldo appartengono alla famiglia dei processi di deformazione plastica a caldo» (Stefano Maggiolo, Gino Vestri, Stefania Balzamo, Marco Russo 2007). Essa viene effettuata per modificare, in maniera permanente, la forma e le caratteristiche meccaniche dell'acciaio. In questo processo l'acciaio, ormai solidificato, viene riscaldato a temperature comprese tra i 1000 ed i 1300 °C, per poi essere deformato tramite la compressione mediata da utensili. La diversa temperatura di riscaldamento permette di avere acciai con caratteristiche diverse (Stefano Maggiolo, Gino Vestri, Stefania Balzamo, Marco Russo 2007). Generalmente vengono utilizzati degli utensili di forma cilindrica detti "cilindri di laminazione". Essi possono avere diverse composizioni, generatrici rette o sagomate, e diverse superfici, lisce o lavorate, a seconda di ciò che si vuole produrre. I prodotti finali variano per forma e dimensione e sono costituiti da:

- **lingotti colati:** sono generalmente di forma quadrata sono usati per la produzione di prodotti semifiniti. Tra essi possiamo distinguere:
 - bramme
 - blumi
 - billette

Essi vengono poi lavorati ulteriormente per poi ottenere dei prodotti finiti. Ad oggi essa però è stata soppiantata dalla colata continua che permette di ottenere prodotti semifiniti direttamente dalla colata continua, rendendo quindi superflua la produzione di lingotti.

- **bramme:** prodotti semifiniti di sezione rettangolare, ottenuti dalla laminazione di lingotti o da colata continua ed utilizzati per la produzione di laminati a caldo piani.
- **blumi e billette:** prodotti semifiniti di forma quadrata o rettangolare, ottenuti dalla laminazione di lingotti o da colata continua, impiegati per la produzione di prodotti laminati a caldo lunghi.
- **bramme sottili e profilati sbozzati (beam blanks):** prodotti ottenuti da colata continua in forma vicina a quella finale, tramite un'opportuna tecnica di colaggio chiamata "near Net Shape", applicabile solo a stabilimenti recenti (Stefano Maggiolo, Gino Vestri, Stefania Balzamo, Marco Russo 2007).

Dalla laminazione a caldo si ottengono varie produzioni appartenenti a diverse famiglie:

- **prodotti piani: nastri, lamiere o piatti larghi.**
 - I nastri laminati a caldo a seconda della loro larghezza si distinguono in:

- * nastri larghi a caldo (larghezza maggiore o uguale a 600 mm)
 - * nastri stretti a caldo (larghezza minore di 600 mm).
-
- Le lamiere, dette “lamiera da nastro”, hanno larghezza e lunghezza decisamente maggiori dello spessore e sono definite a grosso spessore quando questo raggiunge i 3 mm (Stefano Maggiolo, Gino Vestri, Stefania Balzamo, Marco Russo 2007).
 - I piatti lunghi costituiscono prodotti di larghezza compresa tra 150 e 1250 mm, con spessore di 4 mm. Questi vengono laminati su tutte e quattro le superfici o vengono ottenuti mediante taglio di prodotti finiti piatti (Stefano Maggiolo, Gino Vestri, Stefania Balzamo, Marco Russo 2007).

- **prodotti lunghi: profilati, barre, tondi.**

- I profilati comprendono travi e pezzi similari, la cui altezza minima è di 80 mm.
- Le barre sono prodotti finiti la cui sezione può essere tonda, quadrata, rettangolare, esagonale, ottagonale e semitonda; i profili possono avere forme particolari e rientrano in questa categoria anche travi con altezze inferiori a 80 mm. 3.
- I tondi sono prodotti laminati a caldo di sezione relativamente piccola i quali vengono bobinati in matasse.

2.1.4.2 laminazione a freddo

La laminazione a freddo permette di dare al metallo una superficie più liscia e compatta senza riscaldare il prodotto semifinito. Questo tipo di lavorazione è impiegato soprattutto per gli inossidabili (Stefano Maggiolo, Gino Vestri, Stefania Balzamo, Marco Russo 2007).

2.2 Il mercato mondiale e europeo

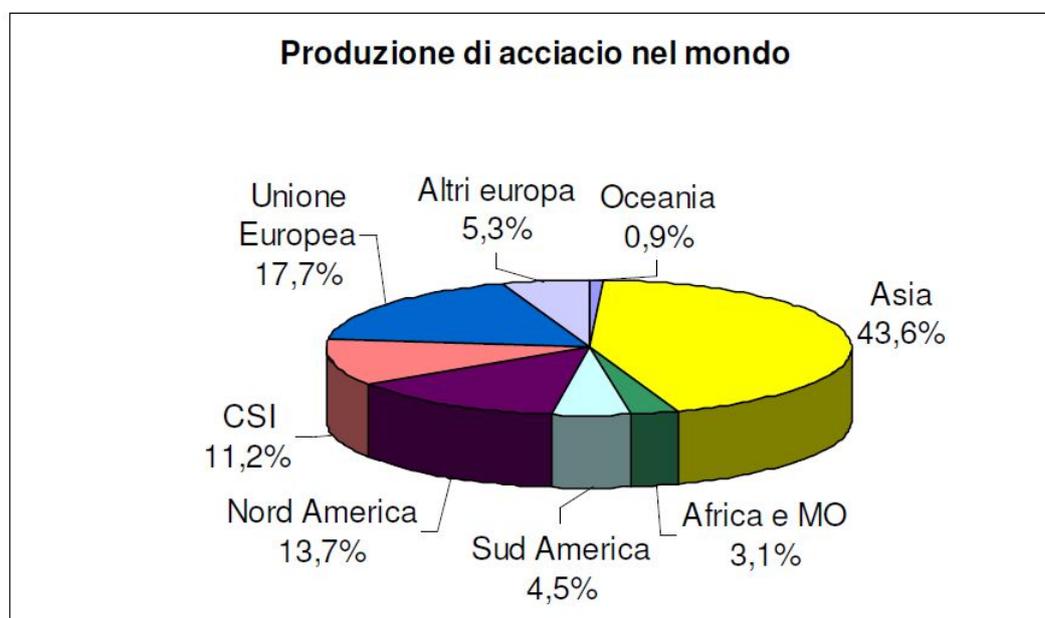


Figura 2.6: Produzioni Mondiali di acciaio 2002

Nell'ultimo mezzo secolo, l'industria siderurgica ha visto sempre crescere il suo ruolo di fornitore di uno dei materiali più diffusi al mondo, impiegato in ogni campo della vita quotidiana e dell'industria. Nelle economie industrializzate, l'industria siderurgica ha una importanza strategica che può essere attribuita alle varie proprietà dell'acciaio che consentono l'utilizzo di innumerevoli prodotti derivati da esso nella vita quotidiana. Ciò ha permesso che i consumi di prodotti siderurgici siano sempre sostenuti ed in crescita, richiedendo sia un aumento per quanto riguarda le quantità prodotte che per quanto riguarda la creazione di prodotti di alta qualità. Gli stessi paesi in via di sviluppo hanno dovuto provvedere, per sostenere il processo di industrializzazione, a dotarsi di una adeguata capacità di produzione (Stefano Maggiolo, Gino Vestri, Stefania Balzamo, Marco Russo 2007). I paesi più industrializzati hanno dovuto potenziare le produzioni, creando nuovi impianti e produzioni più efficienti e tecnologiche. Dopo la seconda guerra mondiale la produzione di acciaio è accresciuta notevolmente fino agli anni 70 con andamento vario a seconda delle aree geografiche. Più recentemente la produzione mondiale di acciaio è passata da 770.000 Kt (1990) a 848.000 Kt nel 2000 e a 902.000 Kt nel

2002 (Stefano Maggiolo, Gino Vestri, Stefania Balzamo, Marco Russo 2007). La crescita maggiore si è verificata in Asia dove l'acciaio prodotto è passato da 238.000 Kt del 1990 a 393.000 Kt nel 2002. Per quanto riguarda i paesi dell'UE hanno proseguito il costante sviluppo del settore portando la produzione di acciaio a 159.000 Kt nel 2002 rafforzando la propria posizione di produttore efficiente e qualificato, ribadendo ancora una volta l'importanza della produzione di acciaio nella propria economia (Stefano Maggiolo, Gino Vestri, Stefania Balzamo, Marco Russo 2007).

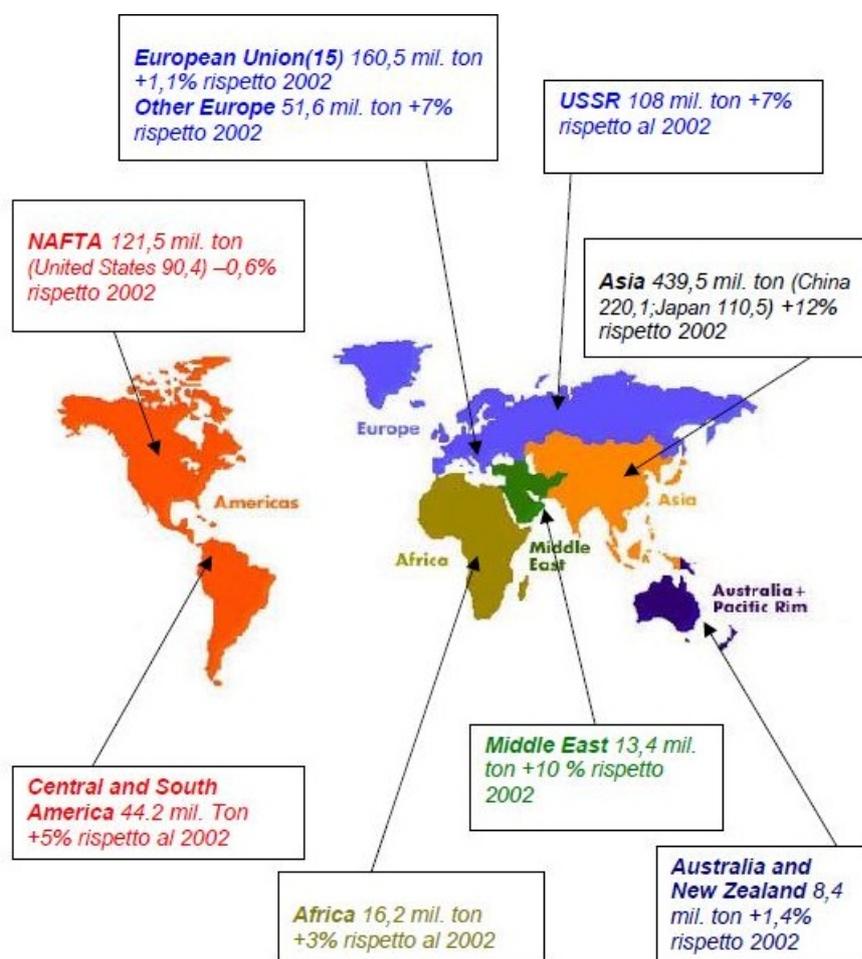


Figura 2.7: Dati produzione mondiale 2003

L'Asia produce attualmente è il maggior produttore mondiale di acciaio seguita dall'Unione Europea e dal Nord America. Nell'ultimo decennio paesi come Corea del Sud Taiwan e India hanno visto raddoppiata la propria produzione. Lo scettro di maggiore

produttore mondiale però è costantemente nelle mani della Cina dal 1996, quando ha superato il Giappone, e, dal 1990 al 2000 ha raddoppiato la produzione portandola a 127.000 Kt e successivamente a 182.000 Kt nel 2002 (Stefano Maggiolo, Gino Vestri, Stefania Balzamo, Marco Russo 2007). Il 2004 grazie ad un incremento del 4,1% è stato l'anno migliore degli ultimi 30 anni per quanto riguarda l'aumento di produzione di acciaio, con un incremento del consumo mondiale di acciaio di circa il 9%. Il 2005 vede un incremento più contenuto ($\pm 3,5\%$), sottolineando comunque un costante aumento del consumo di acciaio a livello mondiale. Per quanto riguarda l'Europa, la crescita ha portato un notevole aumento di tutte le attività collegate al settore siderurgico, in particolare dell'acciaio, nell'ordine del 3,5% rispetto al 2003 (tubi +6%, automobilistico +5%, elettrodomestici +4,5%, ingegneria +4%, edilizia +1,5%) con un conseguente aumento del consumo di acciaio dell'ordine del 3% (Stefano Maggiolo, Gino Vestri, Stefania Balzamo, Marco Russo 2007). La produzione mondiale di acciaio grezzo si è attestata a 1 055 000 tonnellate nel 2004, con un costante aumento del 9% durante tutto il 2003. Il 2004 ha visto un notevole balzo in avanti, per quanto riguarda la produzione, da parte della Cina +23% in un solo anno, mentre L'Unione europea (193,5) e gli Stati Uniti (98,5) hanno visto la loro produzione crescere di poco più del 5%. Per quanto riguarda i dati dell'ultimo anno (figura 2.8), diffusi dalla World Steel Association (Worldsteel), la produzione di acciaio grezzo si è attestata sui 1.526,9 milioni di tonnellate, per un incremento del 6,8% su base annua, record per la produzione di acciaio.

	Output 2011 (mio ton)	Variaz. annua (%)	UE-27	Output 2011 (mio ton)	Variaz. annua (%)
Asia	988,2	+7,9	Germania	44,3	+1
UE-27	177,4	+2,8	Italia	28,7	+11,3
Nord America	118,9	+6,8	Spagna	15,6	-4,6
CIS	112,6	+4			
Sud America	48,4	+10,2			
Altro	81,4	n.d.			
TOTALE	1.526,9	+7,9			

Figura 2.8: Dati sulla produzione di acciaio 2011

Capitolo 3

Validazione del modello

Una parte fondamentale di un modello realizzato con la System Dynamics è sicuramente il processo di validazione. Per questo motivo, al fine di rendere il più plausibile possibile il modello, ci si è avvalsi esclusivamente di dati reali recuperati da aziende operanti nel settore e da testi accademici sull'argomento. Dopo una prima ricerca, nella quale si è cercato di comprendere al meglio l'intero processo produttivo a ciclo integrale, si è deciso di basare l'intero processo produttivo sull'acciaieria «Ilva di Taranto». Per quanto riguarda il time step si è deciso di adottare come misura di riferimento il quarto d'ora. Andando nello specifico, si nota come alla base del processo produttivo ci sia la preparazione della carica (figura 3.1). E' stato molto complicato trovare le quantità precise di ogni materiale necessario a comporre la carica (calcare, coke e minerale). Per la produzione di una tonnellata di ghisa sono necessari 1.8 t di minerale, 0.9 t di coke e 0.45 t di calcare (Marshall Brain, Robert Lamb). Partendo da questi dati la preparazione della carica è influenzata sia dal numero di altoforni (NAltoforni) che dalla produzione giornaliera (CapGiornAltoforno) di questi ultimi. Dopo un'attenta analisi è stata scelta tale soluzione sia perché il modello fosse più flessibile, sia perché, in questo modo, tale modello può essere facilmente adattato a una qualsiasi azienda presente sul mercato di acciaio. Ogni azienda Infatti ha i propri altoforni che a seconda della loro grandezza hanno una produzione giornaliera di ghisa che va dalle 6000 alle 10000 tonnellate giornaliere. Ogni flusso di acquisizione delle materie prime (AcqMin, AcqCoke, AcqCal) ha un controllo utilizzato per limitare l'accumulo troppo elevato di carica non necessaria, nello specifico: $Minerale < QtaMinerale$ AND $Carica < CaricaNecessaria$. Questo fa sì che la materia prima, in questo caso il minerale, venga acquistata solo quando

nello stock c'è una disponibilità minore rispetto alla quantità necessaria ($Q_{taMinerale}$) e solo nel caso in cui il valore dello stock di carica sia inferiore alla carica necessaria ($CaricaNecessaria$). Il valore della variabile $Q_{taMinerale}$ ha nello specifico la seguente equazione: $2 \cdot (CapGiornAltoforno/8) \cdot AltoforniAttivi$, la variabile $AltoforniAttivi$ invece è influenzata dal numero di altoforni che si è scelto di utilizzare nella simulazione e dalla variabile $PerProd$, più avanti ne verrà spiegato il funzionamento nel dettaglio. Nel caso in cui questa variabile abbia un valore inferiore a 0.6 l'altoforno viene spento perché non si ha il numero minimo necessario di personale. La variabile $CapGiornAltoforno$ viene divisa per 8 perché dal rapporto dell'APAT è emerso che il tempo necessario per la produzione di ghisa ha la durata di 6 ore, di cui 3 per la preparazione della carica e 3 per la fusione vera e propria, di conseguenza si hanno 8 colate giornaliere. Il flusso $MineralePerCarica$ dipende dalla variabile $ContrDispMat$ che assume valore uno nel caso in cui ci sia la quantità necessaria di tutti e 3 gli elementi necessari per la carica, 0 nel caso in cui ciò non sia verificato. Quando tale valore è 1 viene inviata la quantità necessaria del minerale ($Q_{taMinerale}$) per la formazione della carica. Tale quantità viene poi divisa per il tempo necessario alla preparazione della carica ($T_{prepCarica}$) che è di 3 ore. Anche questo valore è influenzato dalla variabile $PerProd$. Nel caso in cui non si abbiano i dipendenti necessari, ma con valori di $PerProd$ superiori allo 0.6, il tempo di preparazione della carica viene aumentato via via che il valore di $perProd$ si abbassa ($12/PerProd$). Nel caso in cui si arrivi a valori inferiori allo 0.6 viene arrestata la produzione di carica. I flussi relativi all'accumulazione del coke e del calcare, così come del loro utilizzo per la preparazione della carica hanno un funzionamento del tutto simile a quello sopra descritto per il minerale.

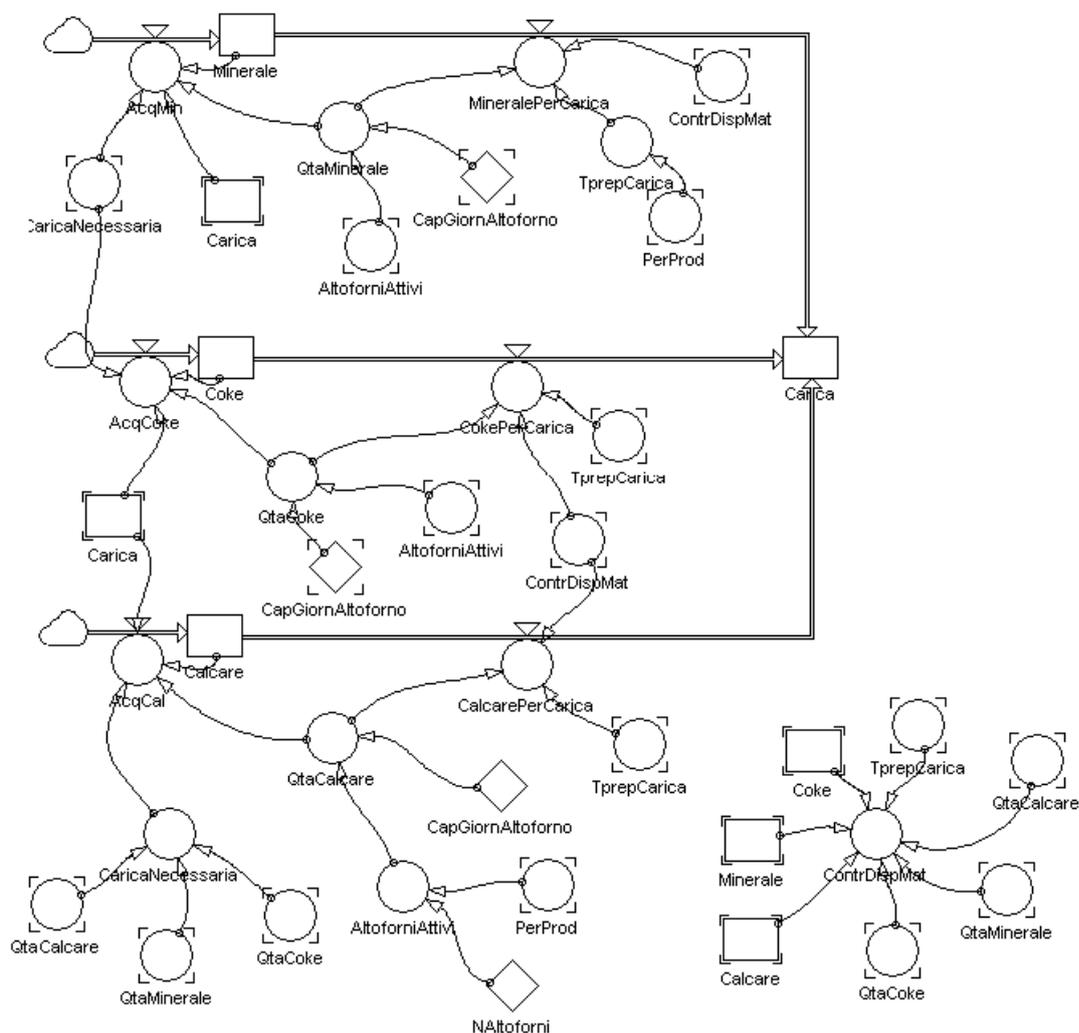


Figura 3.1: Carica Altoforno

La variabile «PerProd» (figura 3.2), composta dal rapporto $\frac{Dipendenti}{DipDesiderati}$, restituisce un rapporto relativo al numero di dipendenti necessari al corretto funzionamento dell'intero impianto. Dal report annuale 2010/2011 della Tata steel del gruppo Tata, si è ricavata la produttività media di ghisa per dipendente che si attesta sul valore di circa 0.59 t/gg (7.5 mmt annua/ 34900 dipendenti). Questo valore è stato poi impostato come produzione di ghisa giornaliera desiderata per dipendente (DesProdGiornGhisaDip). La variabile «ProdDesGhisa», invece, rappresenta la produzione massima di ghisa giorno-

liera dell'impianto influenzata dal numero di altoforni e dalla loro capacità. La variabile «DipDesiderati» ($\frac{ProdDesGhisa}{DesProdGiornGhisaDip}$) rappresenta il numero di dipendenti necessari affinché l'impianto produca a pieno regime. A questo punto appare chiaro il perché il numero di altoforni attivi sia influenzato dalla variabile «PerProd», così come i tempi di preparazione della carica e, come vedremo in seguito, tutti i processi produttivi siano influenzati da tale variabile.

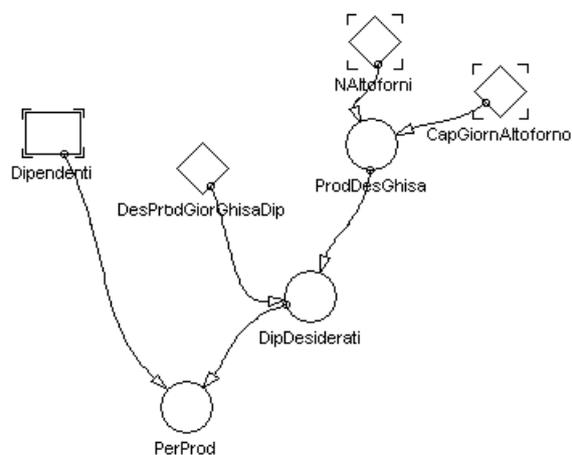


Figura 3.2: Descrizione della variabile «PerProd»

Il processo di fusione, ed in particolare il flusso, è influenzato da tre variabili principali CaricaProd3h, RateProdAltoforno e TempoFusione. CaricaProd3h rappresenta la carica necessaria al corretto funzionamento dell'altoforno ed è uguale alla somma della QtaMinerale, QtaCalcarea, QtaCoke. Tale valore è poi influenzato dal valore RateProdAltoforno. Tale variabile restituisce un rapporto, con valori compresi tra 0.8 e 1, relativo alla $CapConvUtilizzata \cdot ConvAttivi \cdot 10$ (capacità di convertitori per il numero di convertitori attivi moltiplicato per 10) sulla quantità dello stock di ghisa di prima fusione (GhisaDiPrFus). Ciò fa sì che si possa adattare la produzione dell'altoforno all'intero processo produttivo, ovviamente come sappiamo non è possibile utilizzare, per via dei costi fissi troppo elevati, gli altoforni al di sotto di una certa quantità produttiva. Dal report della regione Puglia, relativo ai problemi di occupazione nel settore siderurgico, si è potuto constatare che un altoforno per essere efficiente deve essere usato almeno all'80% della propria capacità produttiva. A tal proposito si è deciso di limitare tale rapporto per valori compresi tra 0.8 e 1. Nello specifico la variabile CaricaProd3h ha

la seguente equazione: $(QtaCoke + QtaCalcare + QtaMinerale) \cdot RateProdAltoforno$. Il flusso di fusione viene poi influenzato dalla costante TempoFusione, che come è stato precedentemente detto è pari a 3 ore. Il flusso delle scorie è invece pari al 70% del flusso di fusione.

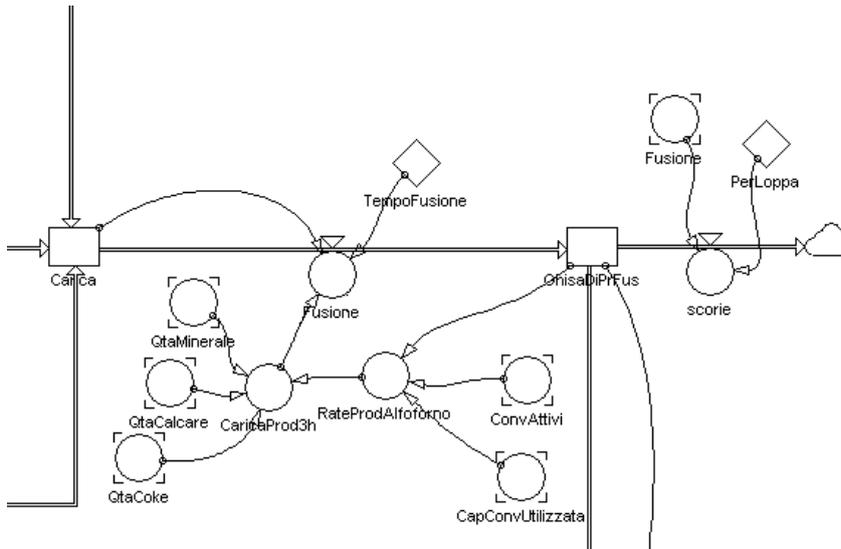


Figura 3.3: Fusione

La ghisa di prima fusione viene poi colata nei convertitori per essere trasformata in acciaio. E' importante sottolineare come il flusso di accumulazione dell'acciaio non sia influenzato soltanto dalla ghisa ma anche dal rottame (figura 3.4). I convertitori, infatti, vengono riempiti per il 80% di ghisa e per il 20% da rottame (report 38/2003 APAT) ed impiegano circa 30 minuti per completare il processo. Per quanto riguarda il flusso di acquisizione del rottame (AcqRottame) si è supposto che il suo acquisto sia legato alla quantità necessaria al funzionamento dei convertitori (QuanRottame), evitando così un suo accumulo non necessario e dispendioso. Lo stock dell'acciaio, invece, come nel caso del processo di fusione, è legato innanzitutto alla variabile PerProd che a seconda del valore che assume stabilirà il numero di convertitori attivi. Nel caso in cui questo valore sia maggiore di 0.9 avremmo tutti i convertitori attivi, nel caso in cui questo generi valori compresi tra lo 0.9 e lo 0.6 ne risulteranno attivi soltanto la metà mentre nel caso di si ottengano valori inferiori a 0.6 il processo produttivo sarà interrotto. Naturalmente, come si può facilmente evincere, si tratta di un imposizione esterna decisa a priori sia per gli intervalli che per il numero di convertitori che atti-

vano. In entrambi i flussi (GhPerRiduzione e RotPerRiduzione) che riempiono lo stock dell'acciaio sono stati inseriti dei controlli che non permettono la sua produzione nel caso in cui il rottame o la ghisa necessari non siano disponibili. Per quanto riguarda la variabile *CapConvUtilizzata* serve a determinare la capacità dei convertitori utilizzata: $CapConvertitore \cdot RateProdConvertitore$. La variabile *RateProdConvertitore* restituisce un rapporto, che può assumere valori compresi tra 0 e 1, tra *NumConvSivAttivi*, il numero di forni siviera attivi, moltiplicati per la loro capacità unitaria, tale valore dopo essere moltiplicato per 10 (il valore 10 è stato inserito arbitrariamente e serve per tenere un minimo di scorte «cuscinetto» che permettono che la produzione non venga mai interrotta) viene diviso per la quantità dello stock di acciaio. Come detto già in precedenza per *RateProdAltoforno*, tale rapporto serve per dimensionare la produzione in base alle richieste del mercato e per minimizzare gli sprechi.

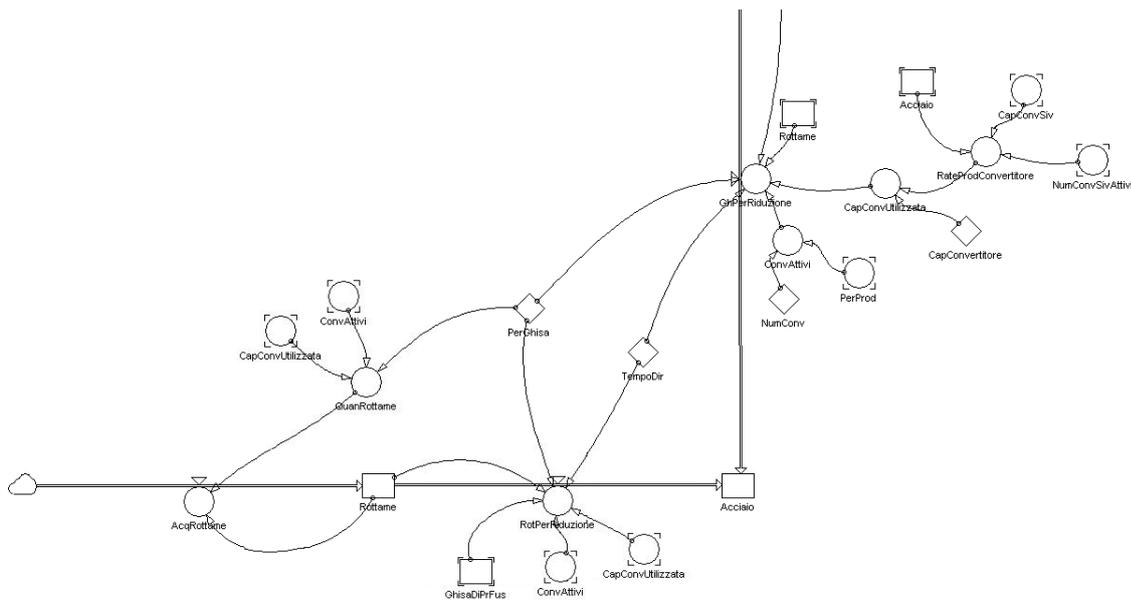


Figura 3.4: Processo produttivo acciaio

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 flusso di colata

continua, invece, considera solo il tempo di raffreddamento che è pari a circa mezz'ora (Balconi, 1991). In questo caso la variabile (RateProdSiv) che gestisce la percentuale di utilizzo delle siviere, è stato «dimensionato» in base al totale dei pezzi prodotti e a quelli invenduti, ovvero $(TotPezziProdotti \cdot MagRate) / TotPezziInvenduti$. In questo modo si possono attuare una serie di strategie, in base alla domanda, all'andamento dei prezzi delle materie prime e di vendita. Si può scegliere se limitare la propria produzione per limitare le perdite nel breve periodo, oppure sostenere delle perdite nell'immediato per poi avere una grossa disponibilità di materiale finito e aumentare le vendite e quindi i ricavi nel lungo periodo.

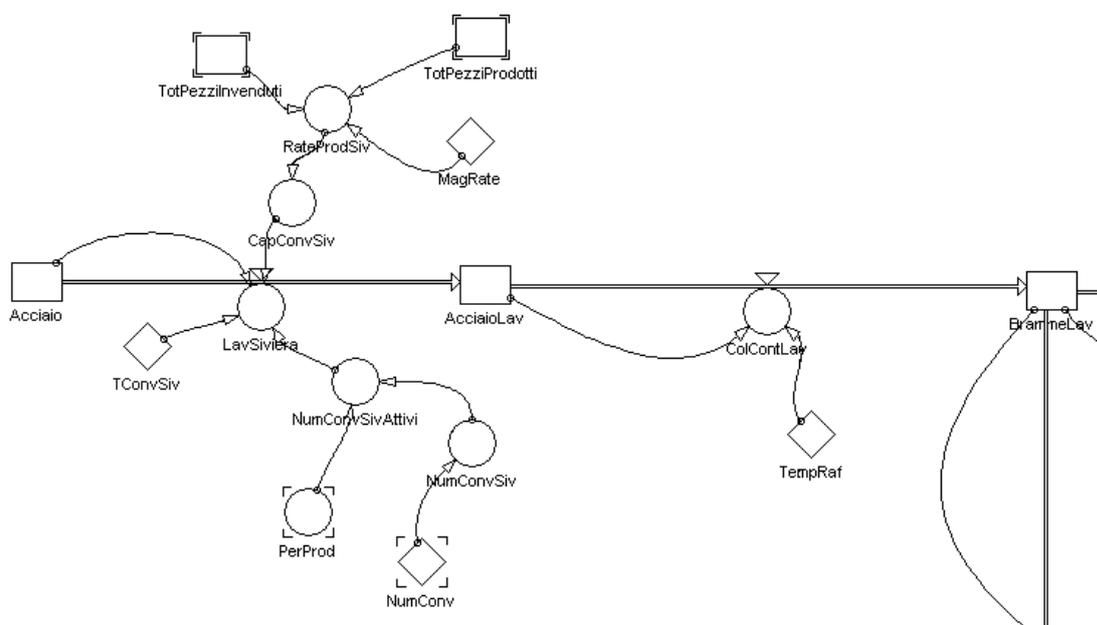


Figura 3.5: Siviera e processo di colata continua

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 anch'esse dal report della Tata Steel precedentemente citato.

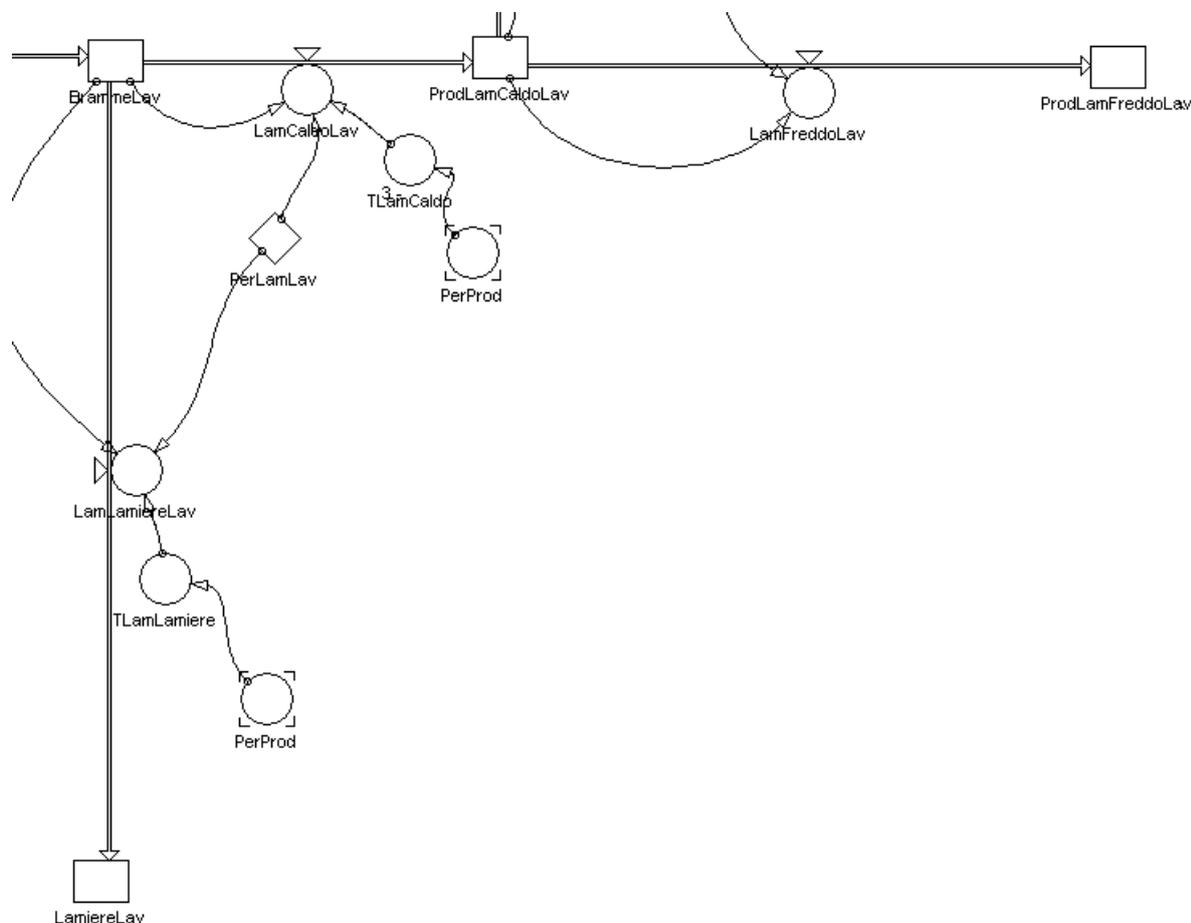


Figura 3.6: Laminazione a caldo e a freddo

Nella realizzazione del modello, per la vendita di tutti i semilavorati prodotti, si è deciso di creare una variabile «CurvaDiMercato». Questa curva può assumere valori compresi tra 0 e 2 e ci restituisce la percentuale di vendita (la richiesta del mercato) rispetto alla produzione massima (ProduzioneMassimaleMensile) dell'impianto. Dato che il TimeStep del modello è tarato sul quarto d'ora mentre la curva di domanda scelta è mensile, si è effettuata la conversione nella variabile Mese composta dall'equazione $\text{Tempo}/\text{unità Mensile}$, dove UnitàMensile è il numero di time step (15 min) che si avranno in un mese. In questo modo nella variabile $\text{VenditeTimeStep} \left(\frac{\text{CurvaDiMercato}}{\text{UnitàMensile}} \right)$, avremmo la quantità di prodotto finito (Figura 3.7) richiesto sul mercato in ogni «Timestep». 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. Si è scelto di adottarla per evitare che alcuni stock si riempiano in maniera esagerata rispetto ad altri.

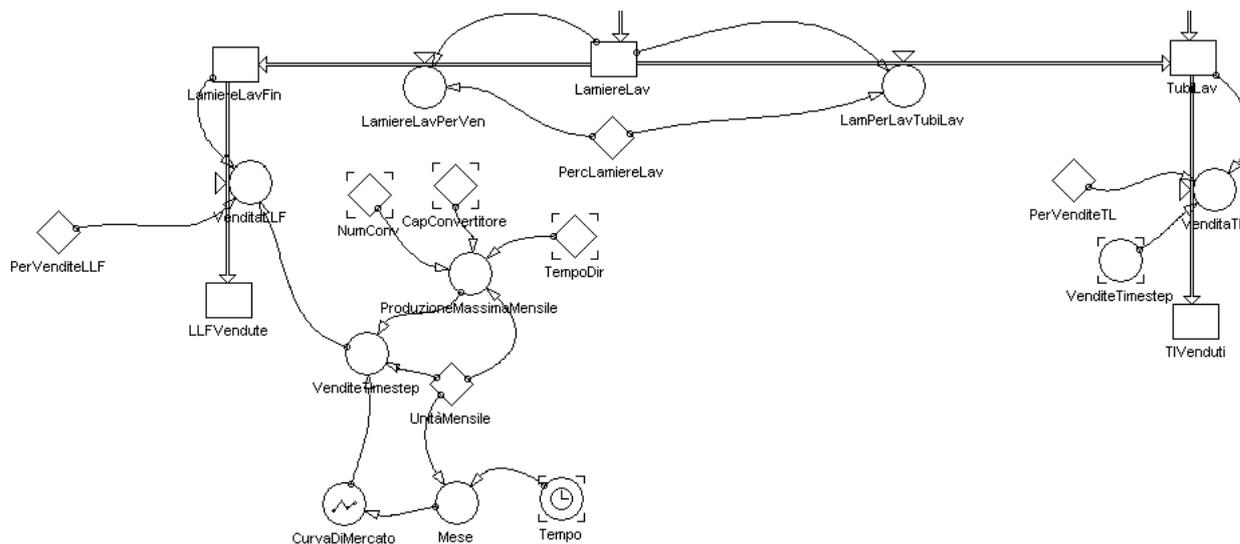


Figura 3.7: Curva di mercato, lamiere e tubi

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 (Figura3.8) e per il restante 80% alla lavorazione per la vendita.

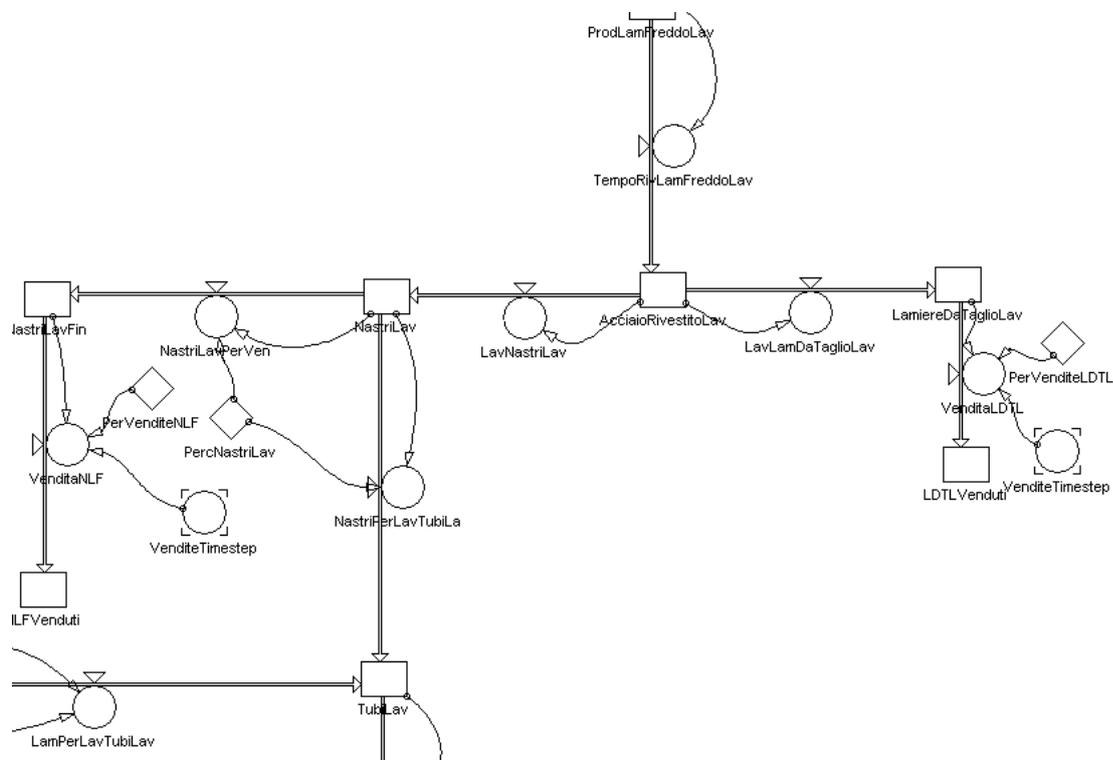


Figura 3.8: Lamiere Lavorate e Nastri

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.

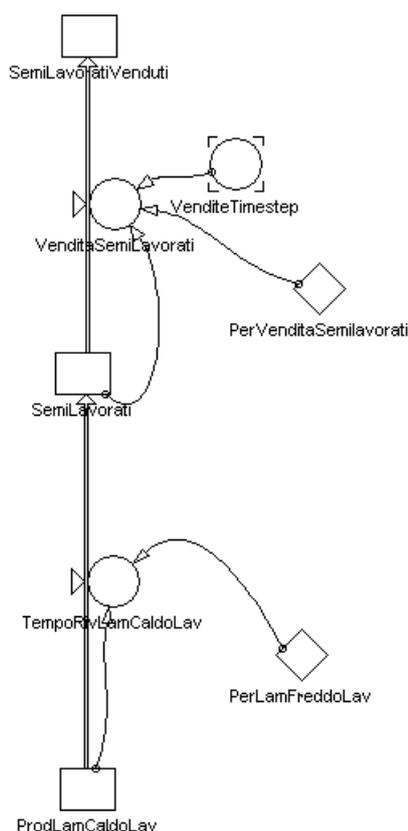


Figura 3.9: Semilavorati

Esaminiamo ora nel dettaglio la parte relativa alla produzione giornaliera di acciaio. Per avere un'idea della quantità d'acciaio prodotto si è deciso di incanalare 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 TATA Steel 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, si è ipotizzato un'assunzione di 300 persone al mese nel caso in cui fosse necessario assumere.

Stesso discorso ma inverso è stato adottato per la diminuzione del personale (Lic_Pens). Lo stock di acciaio prodotto messo a rapporto con il «Tempo» della simulazione, a sua volta diviso per il valore di TimeStepGiornaliero che corrisponde ad un giorno ovvero 96, $\frac{AcciaioProdotto}{Tempo/TimeStepGiornaliero}$, restituisce la produzione di acciaio giornaliera effettiva (ProdAccGiorn) così da poter essere confrontata con quella ideale (ProdDesAcc). Dal rapporto di quest'ultima due variabili si ottiene il grado di produzione dell'impianto (Prodigate = $\frac{ProdDesAcc}{ProdaccGiorn}$). Se tale valore è uguale a uno, l'impianto sta producendo al massimo delle sue possibilità.

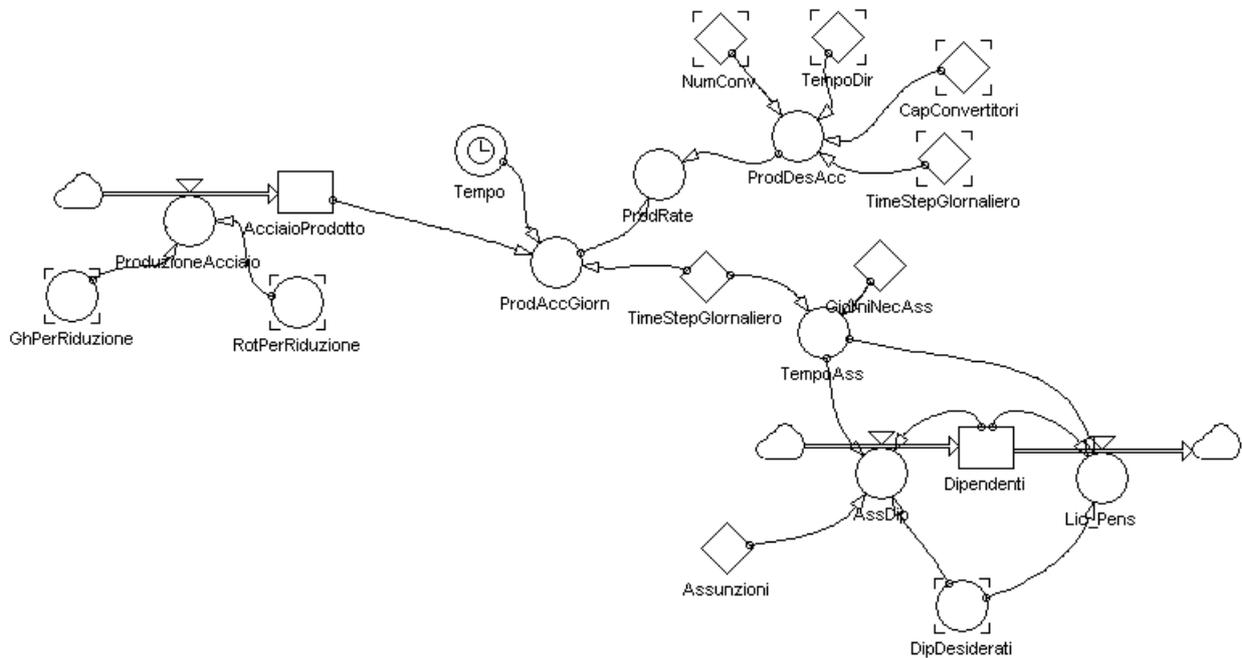


Figura 3.10: Produzione acciaio giornaliera

Terminata la descrizione del processo produttivo, passiamo ad esaminare la parte economica del modello osservando come varia il reddito operativo (Figura 3.11). 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 di materie prime, dal costo dei dipendenti, dai costi di magazzini e dal pagamento della rata degli impianti relativa all'anno di riferimento. I prezzi di vendita e di acquisto delle materie prime sono stati stabiliti calcolando una media dei prezzi/costi degli ultimi tre anni, 2008-2010, delle stesse mentre il costo dei dipendenti è stato stabilito si attesti sui

1500 euro lordi. I costi di magazzino sono pari a 3.5 euro a mq per mese, per comodità si è ipotizzato che ogni tonnellata di acciaio prodotta e non venduta occupasse un mq.

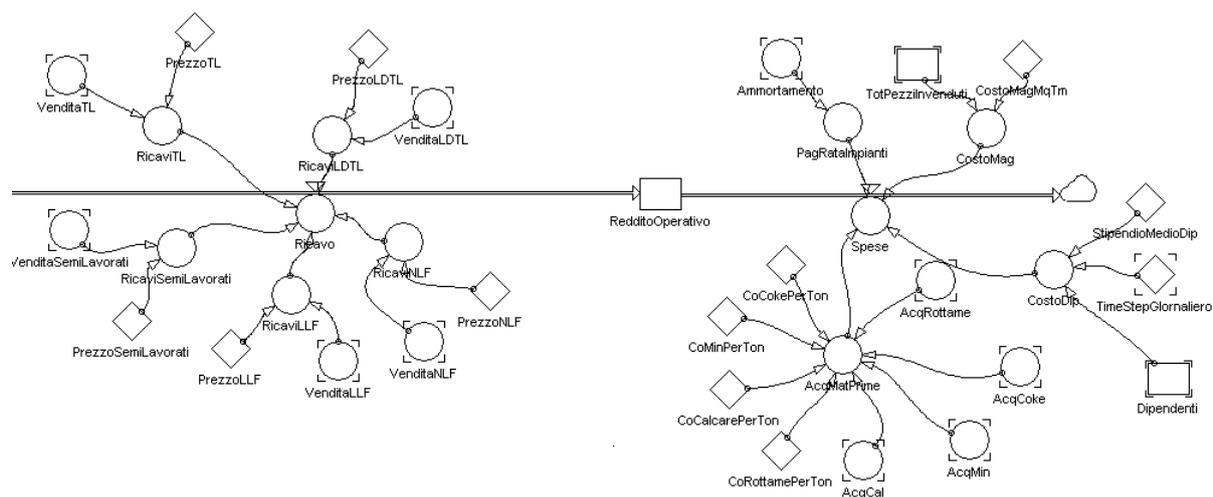


Figura 3.11: Reddito operativo

3.1 Modello Vs Report annuale TATA Steel

	TATA Steel	Simulazione
Produzione Acciaio	6.7 milioni di tonnellate	6.9 milioni di tonnellate
Pezzi venduti	6.4 milioni di tonnellate	6.5 milioni di tonnellate
Dipendenti	34912	35084
Ricavi	5510000000 Euro	5100000000 Euro
Spese	3660000000 Euro	3100000000 Euro
Reddito operativo	1850000000 Euro	2000000000 Euro

Tabella 3.1: Confronto dati Simulazione TATA Steel

Al fine di verificare ulteriormente la plausibilità del modello si è cercato di comparare i dati ricavati dalla simulazione con un report di una azienda reale in questo caso la TATA Steel. I dati in questione si riferiscono alla TATA Steel India. Nella simulazione è stata impostata una percentuale di vendita del 90% (Figura 3.12) della produzione totale.

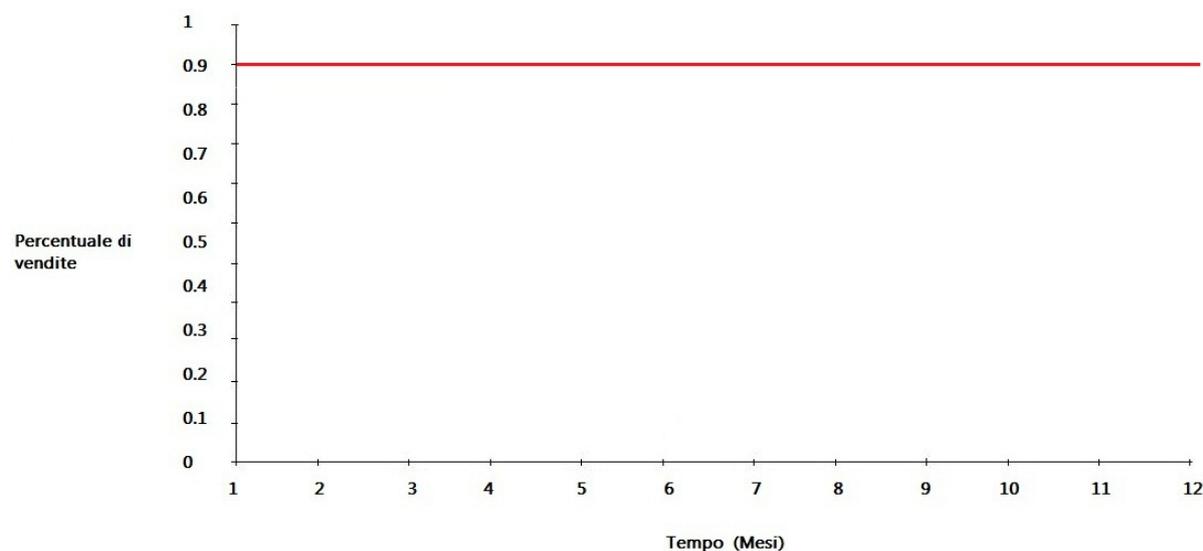


Figura 3.12: Curva di Mercato vendite

Ovviamente la durata della simulazione è pari ad un anno. Dai dati ottenuti, che possono essere osservati nella tabella 3.1, notiamo come tutti i dati siano simili e comparabili. La simulazione è stata fatta con 3 altoforni dalla produzione di 6900 tonnellate di

ghisa giornaliera e 7 Convertitori da 60 tonnellate di capienza. Come possiamo notare, i dati della simulazione relativi alla produzione, 6.9 milioni di tonnellate, (figura 3.13) sono molto vicini a quelli della TATA Steel India che ha una produzione di 6.7 milioni di tonnellate annua. Anche il numero di tonnellate vendute, 6.5 milioni di tonnellate, risulta molto vicino a quello della TATA Steel India (6.4 milioni di tonnellate). Per quanto riguarda i dipendenti possiamo constatare come siano pressoché lo stesso numero. Nella simulazione i dipendenti necessari sono 35.084, mentre quelli della TataSteel sono 34.912.

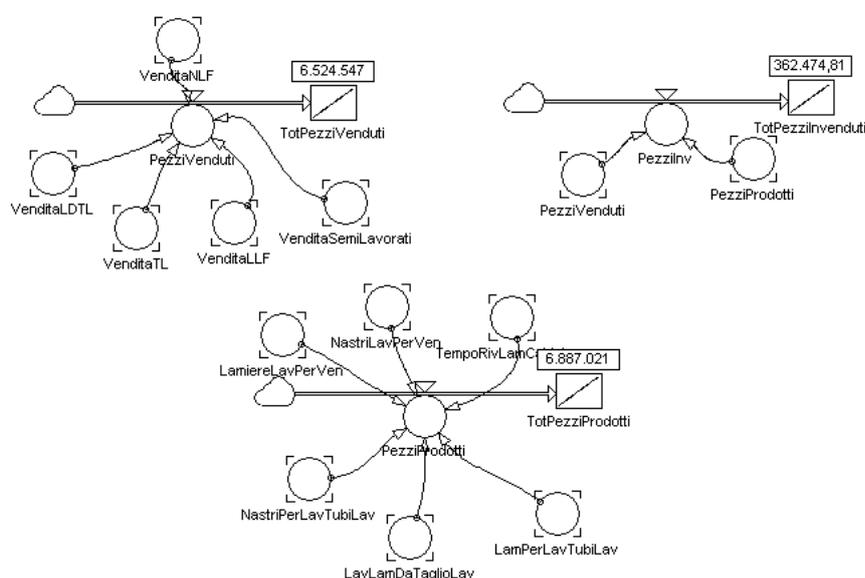


Figura 3.13: Produzione

come si può vedere dal grafico il fatto di impostare un MagRate pari allo 0.05, ovvero in modo che i pezzi invenduti non siano mai superiori al 5% del totale prodotto, ha permesso di avere una minima differenza tra i prezzi prodotti e i pezzi venduti. Il valore è stato impostato in questo modo proprio per simulare il comportamento della TATA Steel, infatti la differenza tra i prezzi prodotti e quelli venduti si attestava sul 5%.

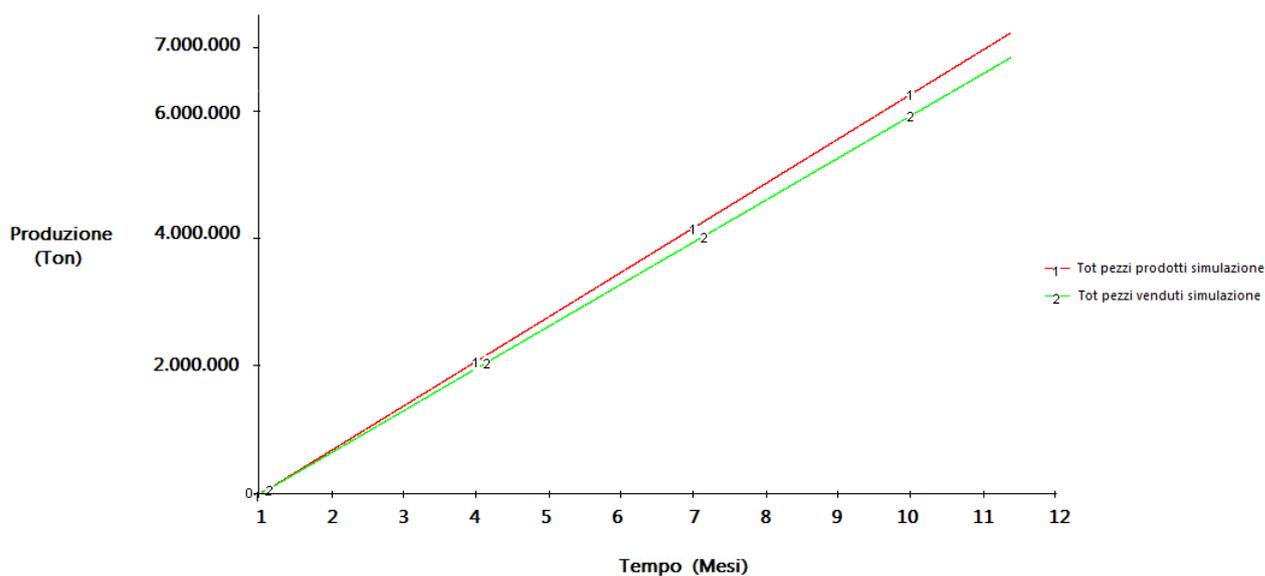


Figura 3.14: Grafico Pezzi prodotti venduti

Per quanto riguarda i guadagni e le uscite possiamo notare che la TATA Steel ha dei ricavi leggermente superiori 5,51 miliardi di euro. Questo è sicuramente dovuto al fatto che per quanto riguarda i prezzi sono state fatte delle medie, inoltre nel modello si è scelto di non rappresentare produzioni specifiche, acciai speciali, che ovviamente restituiscono ricavi maggiori. Nel caso delle spese ovviamente i valori della TATA Steel sono più alti 3,6 miliardi di euro, questo perché nel caso della simulazione sono state considerate soltanto le materie prime, i costi degli impianti, i costi di magazzino e il costo dei dipendenti. Inoltre bisogna anche tenere conto che il costo delle materie prime hanno durante l'anno delle variazioni di prezzo anche abbastanza importanti.

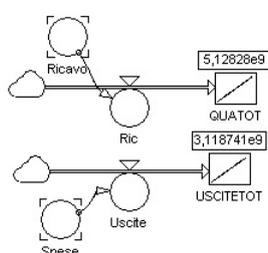


Figura 3.15: Guadagni uscite

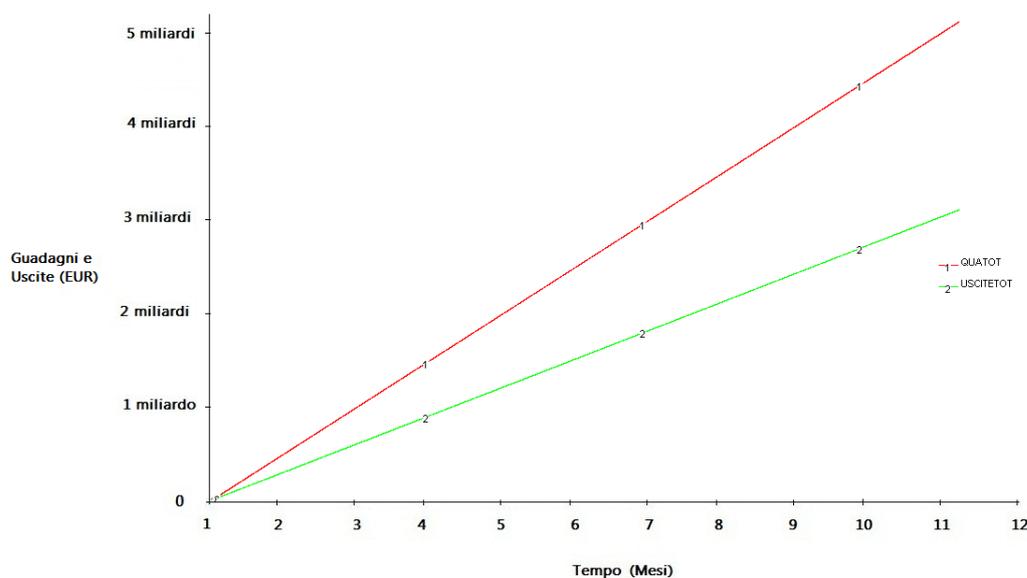


Figura 3.16: Grafico guadagni uscite

Ovviamente per quanto riguarda il reddito operativo i valori sono molto vicini, nel caso della TATA Steel si attesta su 1,85 miliardi di euro, per la simulazione 2 miliardi di euro. In questo caso l'andamento dei prezzi sia delle vendite che delle materie prime non è stato considerato. Sono stati considerati i prezzi di base inseriti nel modello.

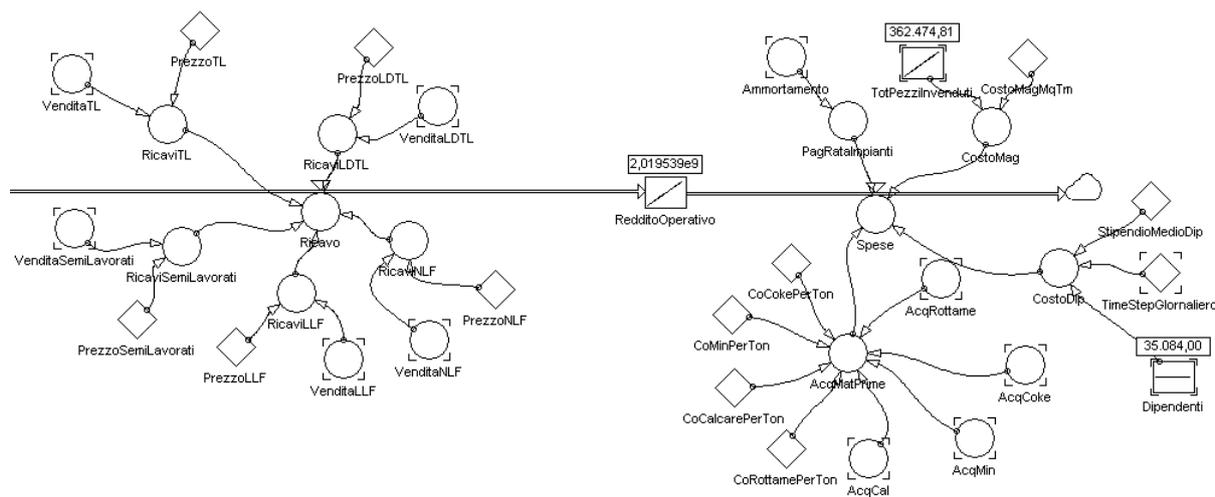


Figura 3.17: Reddito operativo

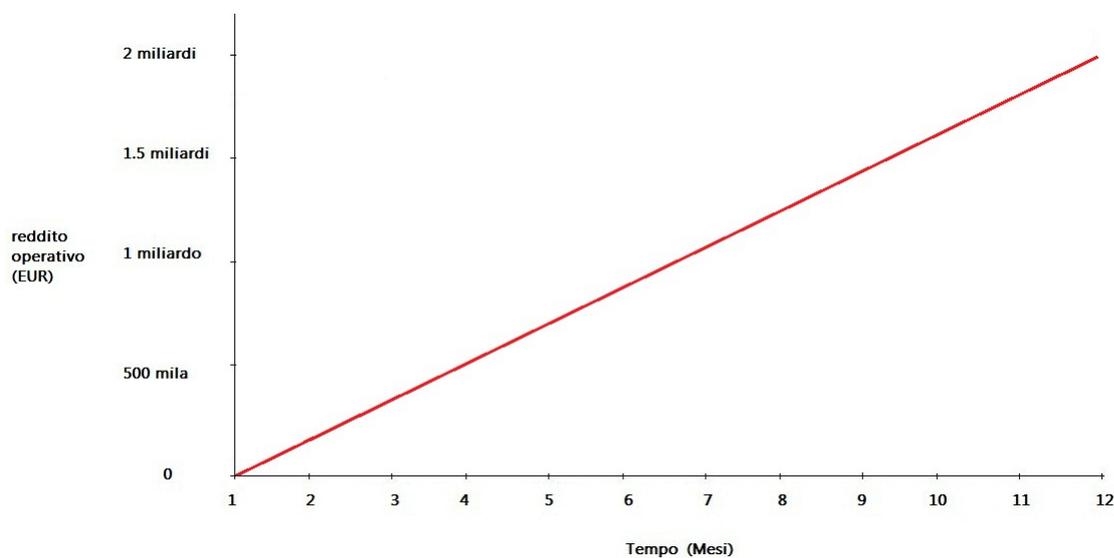


Figura 3.18: Grafico reddito operativo

Capitolo 4

Analisi

In questo capitolo verranno esposte alcune simulazioni utili per capire come il modello può essere utilizzato in «situazioni reali» ed essere di supporto a decisioni di strategia aziendale. In particolare ci soffermeremo su tre aspetti:

- dato un andamento del mercato decidere se spegnere o meno degli altoforni
- dato un andamento dei prezzi delle materie prime decidere se aumentare le scorte di una determinata materia prima comprandola quando il prezzo è più basso
- modificare la percentuale di rottame nei convertitori in base all'andamento dei prezzi delle materie prime e al grado di utilizzo degli altoforni.

In ultimo verrà proposta una soluzione «ottimizzata» che racchiude le soluzioni relative a tutte e tre le problematiche precedentemente descritte. Si vuole precisare, se mai ce ne fosse bisogno, come il modello sia solo una riproposizione verosimile della realtà i risultati di conseguenza devono essere considerati come tali.

4.1 Prima simulazione: scelta del numero di altoforni in base alla domanda

In questa simulazione viene proposta la seguente curva della «domanda»:

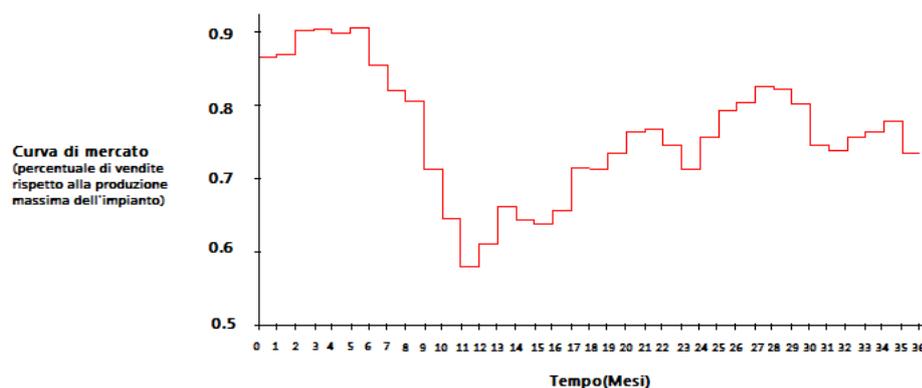


Figura 4.1: Grado di utilizzazione degli impianti

In realtà questa come dice il nome stesso nella didascalia (figura 4.1) più che una curva della domanda vera è propria rappresenta quanto della possibile produzione totale degli impianti viene venduta. Essa è relativa al grado di utilizzo degli impianti a livello mondiale degli anni compresi tra il 2008 e il 2010 (World Steel Association). Partendo da tale curva, senza considerare variazioni sui prezzi e quant'altro, è molto interessante capire se, nell'arco dei tre anni, è più economicamente vantaggioso far funzionare tutti e 3 gli altoforni ad un grado di utilizzo minore, oppure ridurne il numero. Si ricorda infatti che gli altoforni hanno dei costi fissi molto elevati e che sotto una certa soglia di utilizzo (80%) non è economicamente vantaggioso far funzionare un altoforno. Tutte e due le simulazioni sono state effettuate senza variare il numero di convertitori, tenendo costanti sia i prezzi delle materie prime che di vendita, e tenendo conto di una percentuale di pezzi invenduti pari al 5% del totale prodotto.

	S1	S2
Numero di altoforni	3	2
Numero di convertitori	7	7
Pezzi prodotti	17.728 milioni di tonnellate	17.225 milioni di tonnellate
Pezzi venduti	16.630 milioni di tonnellate	16.285 milioni di tonnellate
Dipendenti	35084	23389
Ricavi	13000000000 Euro	12000000000 Euro
Spese	9700000000 Euro	7400000000 Euro
Reddito operativo	3830000000 Euro	5410000000 Euro

Tabella 4.1: Dati relativi alle simulazioni S1, S2

Analizzando i dati si può notare come il reddito operativo dopo 3 anni nella seconda simulazione sia di molto superiore 5,4 miliardi di euro contro i 3,8 della prima simulazione (figure 4.2, 4.3, 4.4, 4.5).

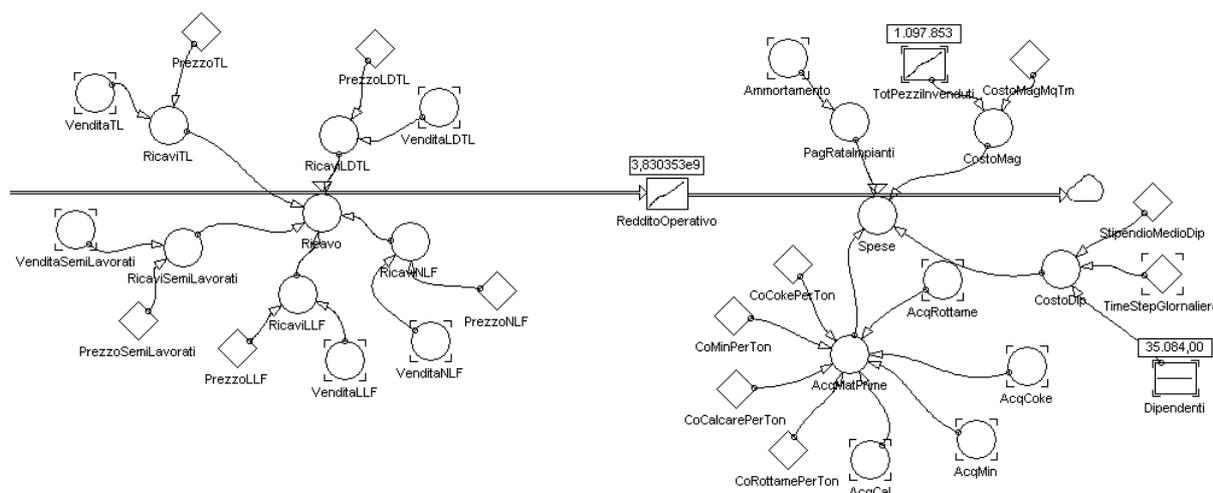


Figura 4.2: Reddito Operativo S1

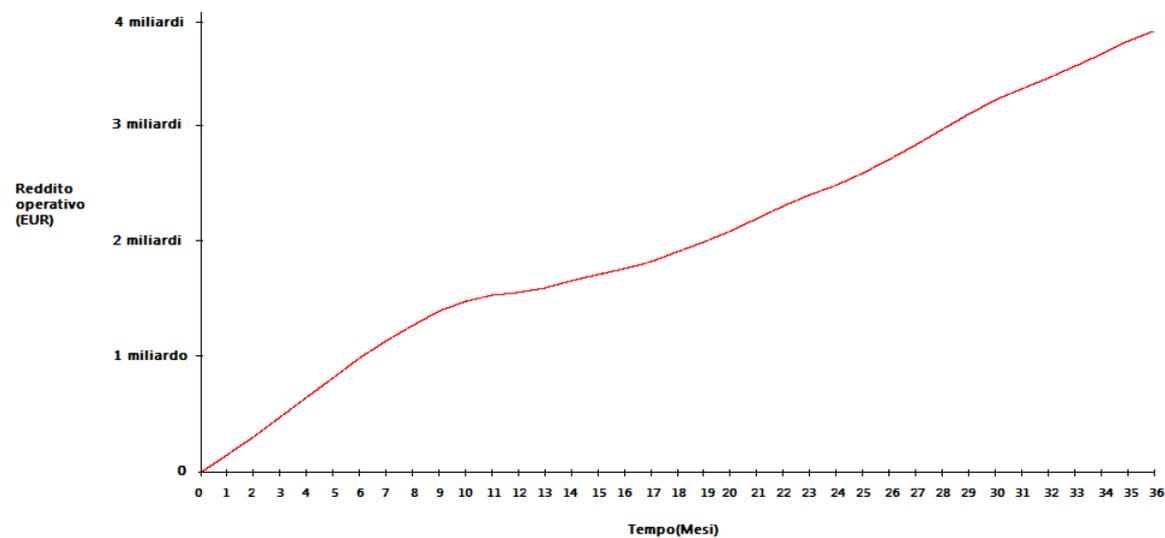


Figura 4.3: Grafico reddito operativo S1

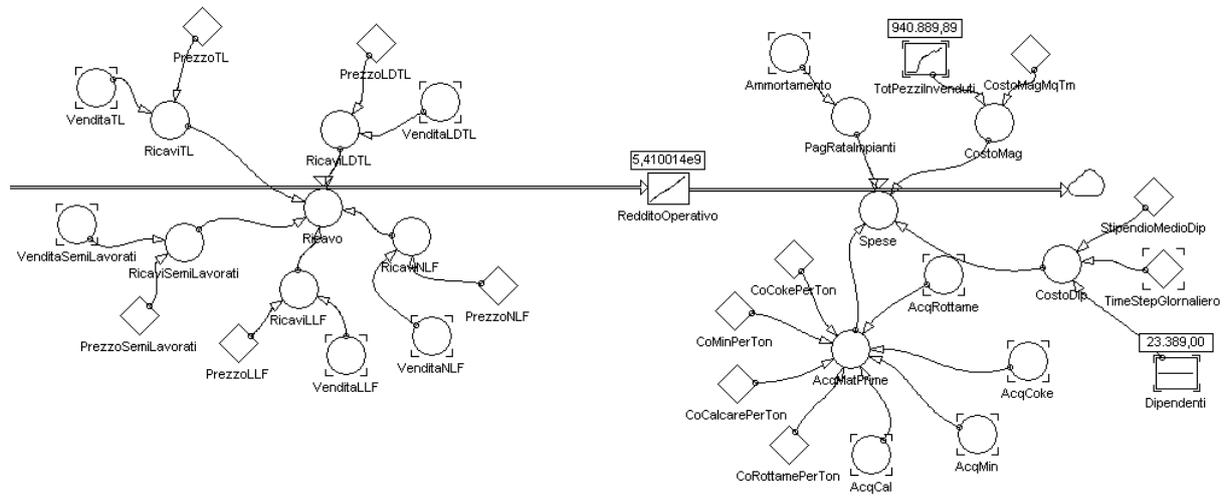


Figura 4.4: Reddito operativo S2

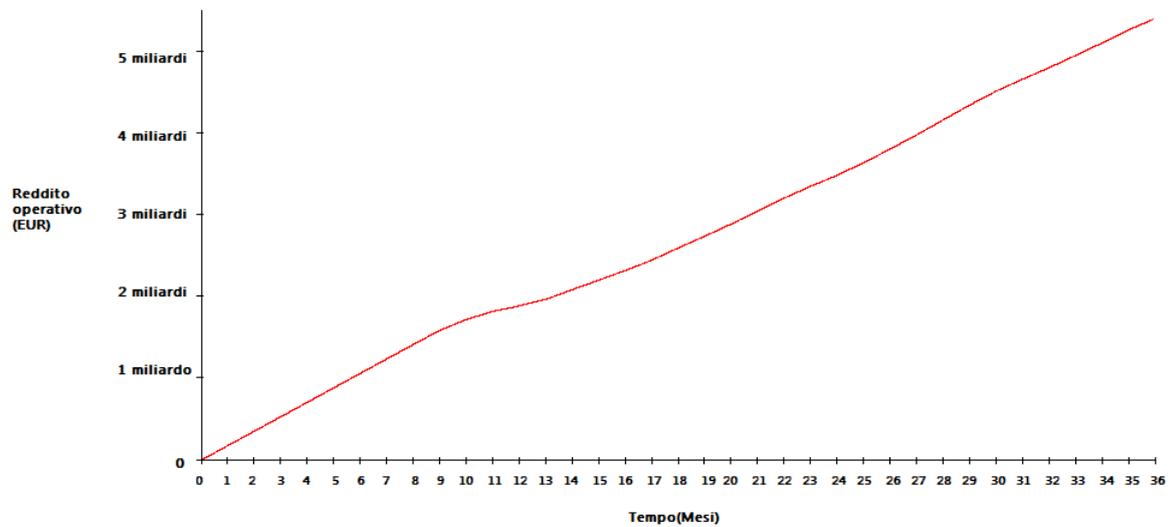


Figura 4.5: Grafico reddito operativo S2

Osservando i ricavi e le uscite (figure 4.6, 4.7, 4.8, 4.9) si nota come i ricavi siano praticamente gli stessi per entrambe le simulazioni, ciò che varia, e anche di molto, sono proprio le uscite. nella prima simulazione vengono spesi quasi 10 miliardi, mentre nella seconda soltanto 7,4.

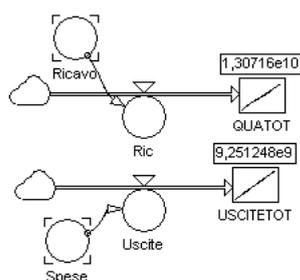


Figura 4.6: Ricavi e uscite S1

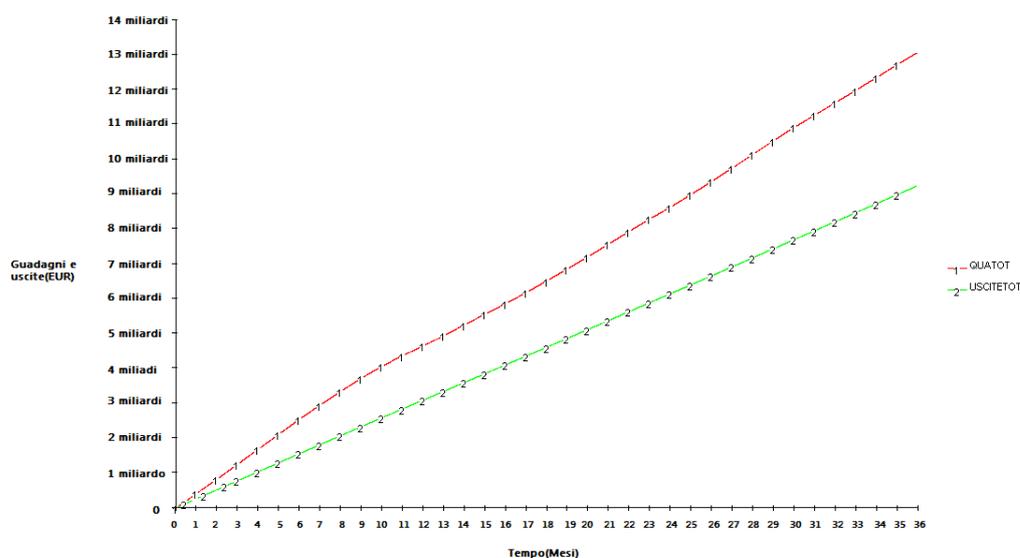


Figura 4.7: Grafico ricavi e uscite S1

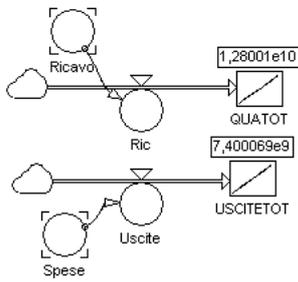


Figura 4.8: Ricavi e uscite S2

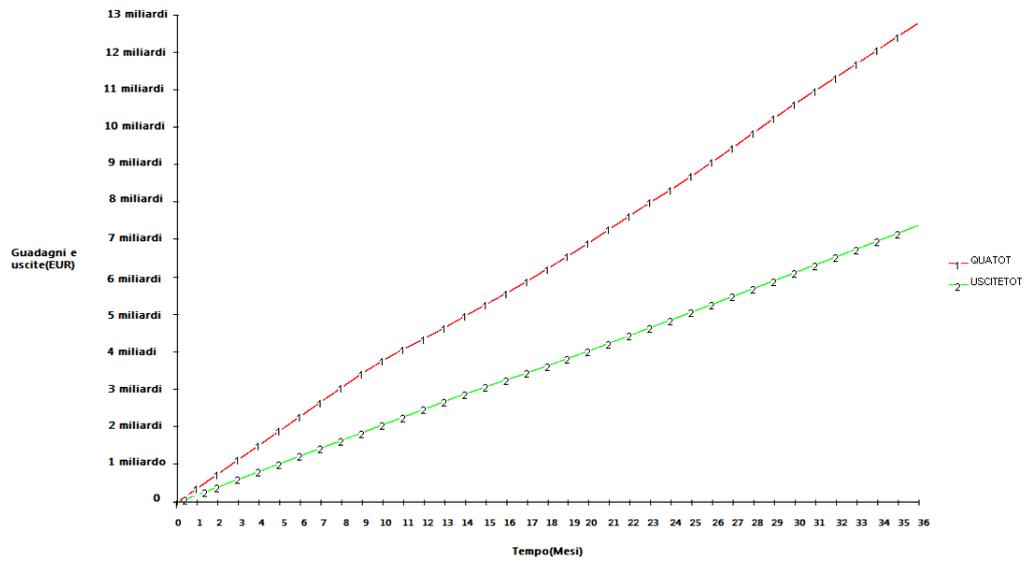


Figura 4.9: Grafico ricavi e uscite S2

Osservando i dati relativi alla produzione, pezzi venduti prodotti e invenduti (figure 4.10, 4.11, 4.12, 4.13), notiamo come non ci sia grossa differenza tra le due simulazioni. Infatti i pezzi prodotti nella seconda simulazione sono del tutto simili a quelli prodotti nella prima.

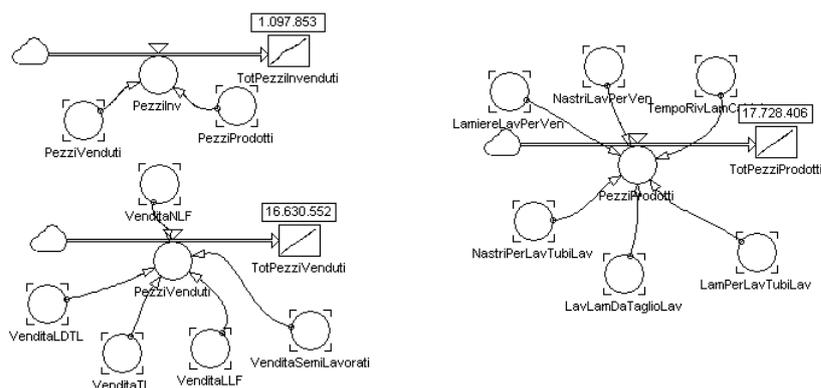


Figura 4.10: Pezzi prodotti, venduti, invenduti S1

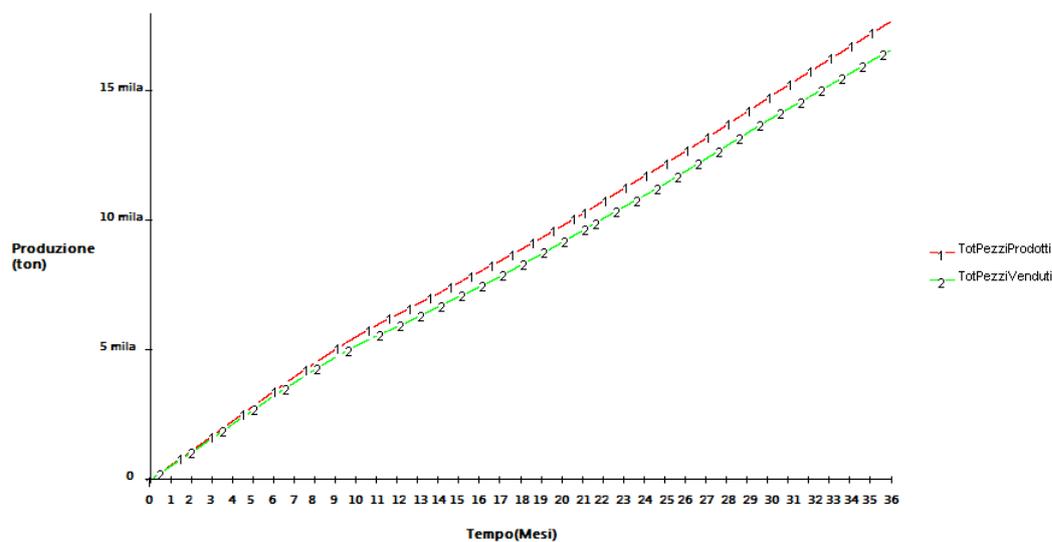


Figura 4.11: Grafico pezzi prodotti, venduti, invenduti S1

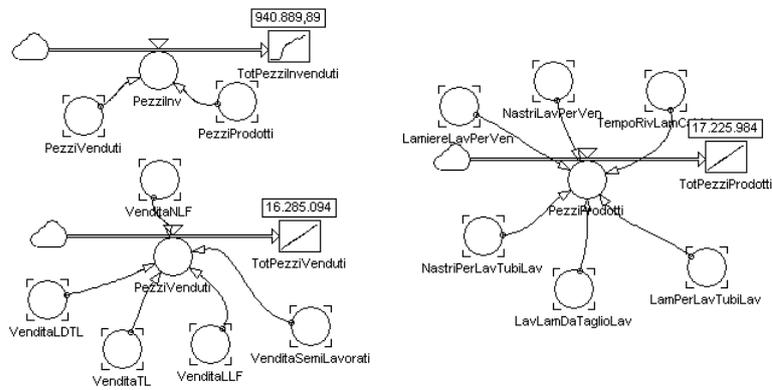


Figura 4.12: Pezzi prodotti, venduti, invenduti S2

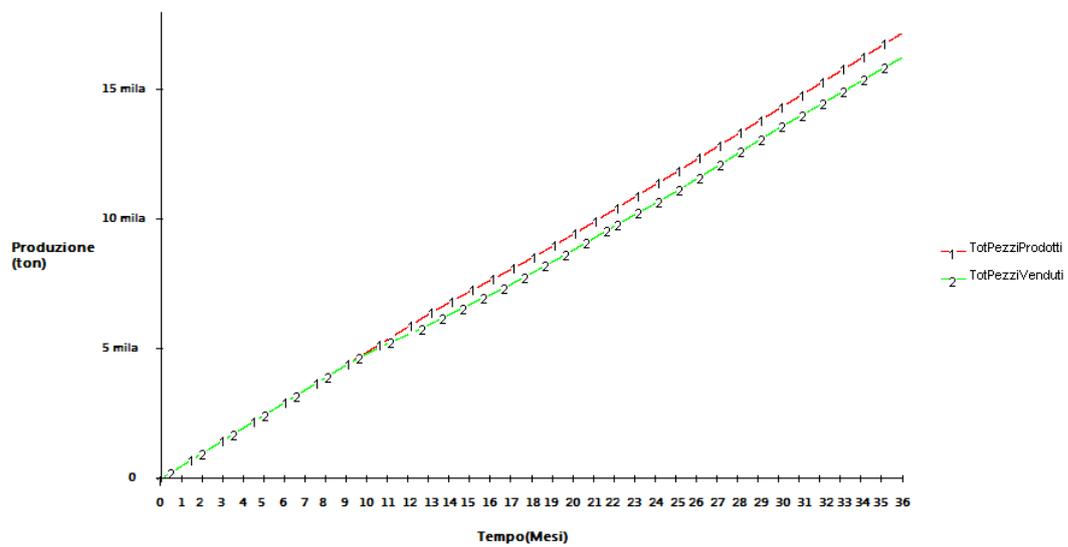


Figura 4.13: Grafico pezzi prodotti, venduti, invenduti S2

Dopo aver osservato nel dettaglio tutti i dati, la visione del grado di utilizzo degli altoforni e dei convertitori nella prima simulazione (figura 4.14) e nella seconda (figura 4.15) dovrebbe fugare ogni dubbio. Notiamo che nella prima simulazione gli altoforni sono sempre utilizzati al loro grado minimo di utilizzo, questo fa sì che venga accumulata in ogni caso molta ghisa, che non viene smaltita dai convertitori. La produzione di questi ultimi, invece, viene adattata alla curva di mercato presa in esame. Questa simulazione (S1) confrontata con la S2 ci dimostra come in realtà 3 altoforni producano troppa ghisa che non può essere smaltita dai convertitori per via della domanda troppo bassa. In realtà quindi i tre altoforni dovrebbero essere usati ad una percentuale di utilizzo minore di quella imposta dell'80%, ma ciò non è possibile per via dei costi fissi. Osservando invece la figura 4.15 notiamo come il sistema sia sempre molto efficiente e anche nel secondo anno, quando la produzione è la più bassa in assoluto, si riesce in ogni caso a dimensionare la produzione degli altoforni alla richiesta del mercato.

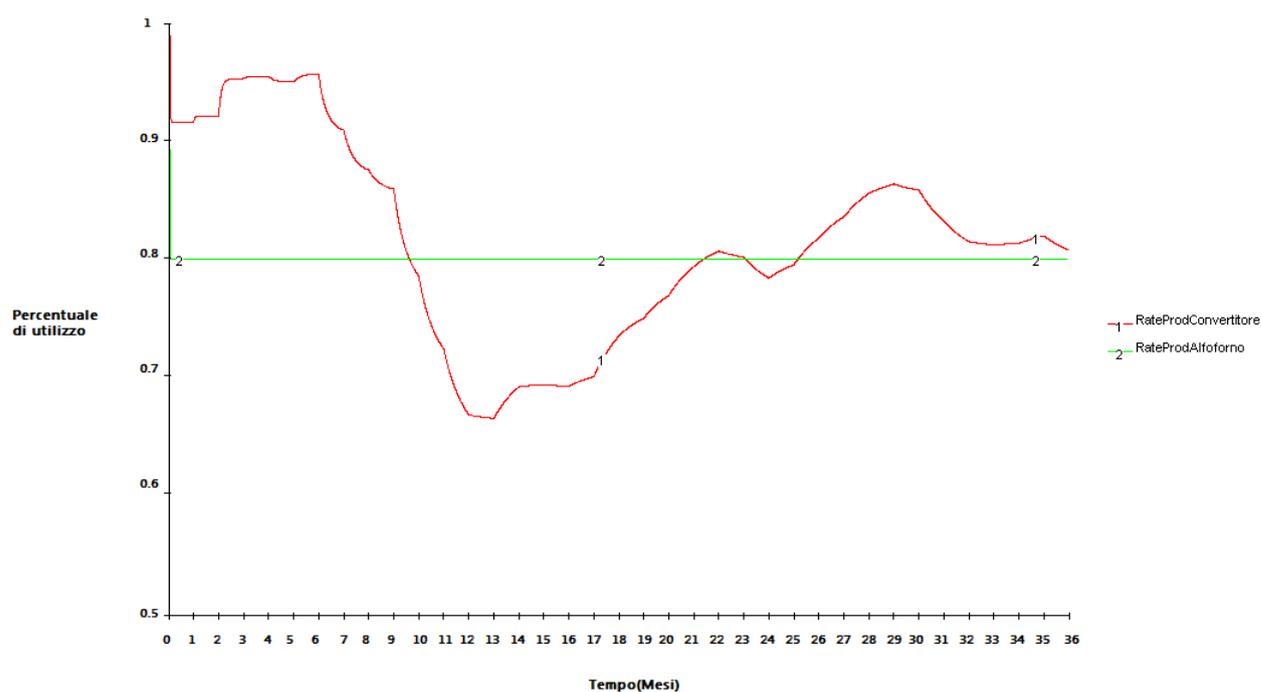


Figura 4.14: Grado di utilizzo altoforno e convertitore S1

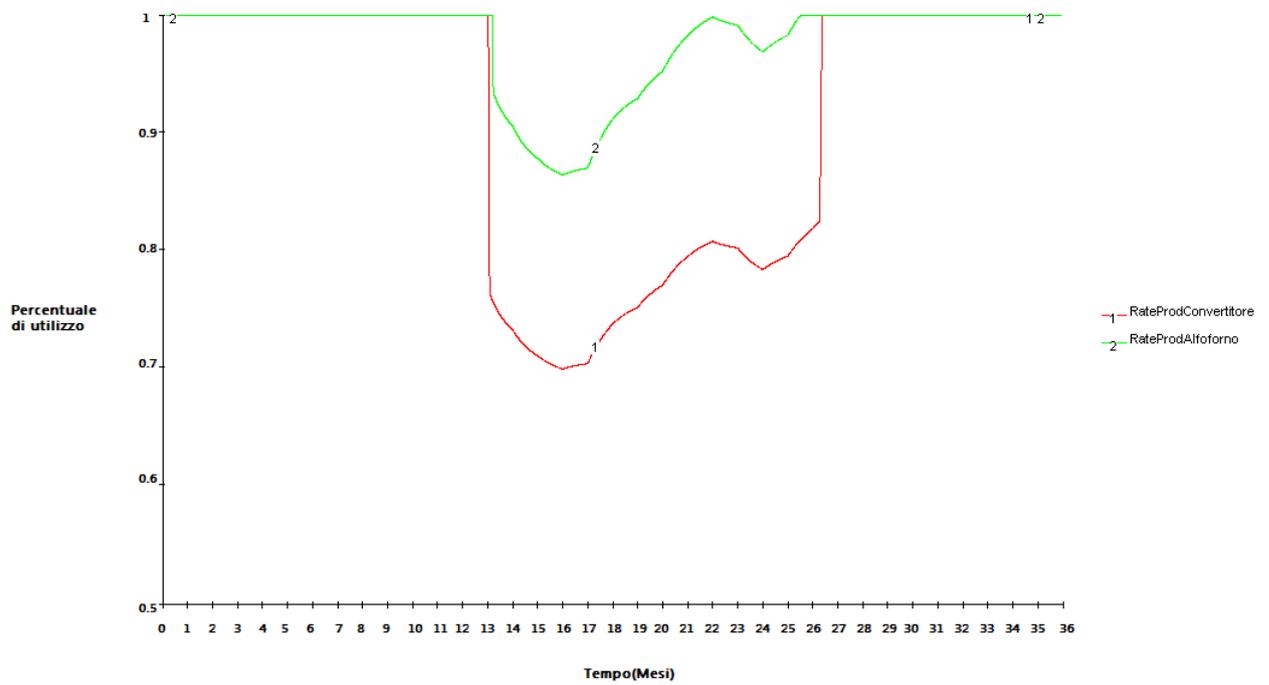


Figura 4.15: Grado di utilizzo altoforno e convertitore S2

Si vuole precisare che la scelta tra i 2 o 3 altoforni non è stata affatto casuale. infatti prima di fare la seconda simulazione è stata effettuata una simulazione «intermedia» che permetteva di capire meglio quale sarebbe stato il numero di altoforni «ideale». Tale simulazione prevedeva il numero di altoforni non come una costante, ma come uno stock che poteva essere aumentato, nel caso in cui il rapporto tra la produzione necessaria e quella degli altoforni era uguale o superiore ad 1.5, o diminuito, nel caso essa fosse minore dello 0.5.

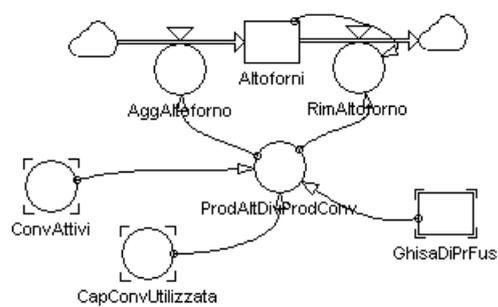


Figura 4.16: Stock degli altoforni

Osservando il grafico riusciamo facilmente a capire che all'inizio e alla fine, dove la richiesta di produzione è maggiore, il rate di produzione fa dei picchi continui questo perché il numero di altoforni oscilla sempre tra 2 e 3, per poi stabilizzarsi nella parte intermedia della simulazione al numero di 2 altoforni. Ovviamente questo non è uno scenario verosimile proprio perché gli altoforni non possono essere spenti e riaccesi per brevi periodi, ma una volta accessi devono essere usati senza interruzioni per almeno un paio di anni, questo anche considerando gli elevati costi di revamping. Tale simulazione però ci fa capire meglio quale sia il numero di altoforni più adeguato per la nostra curva di mercato. L'osservazione di questa simulazione è stata utilissima per capire, già prima di effettuare la seconda simulazione, il numero di altoforni che si adattava meglio alla curva di domanda presa in esame.

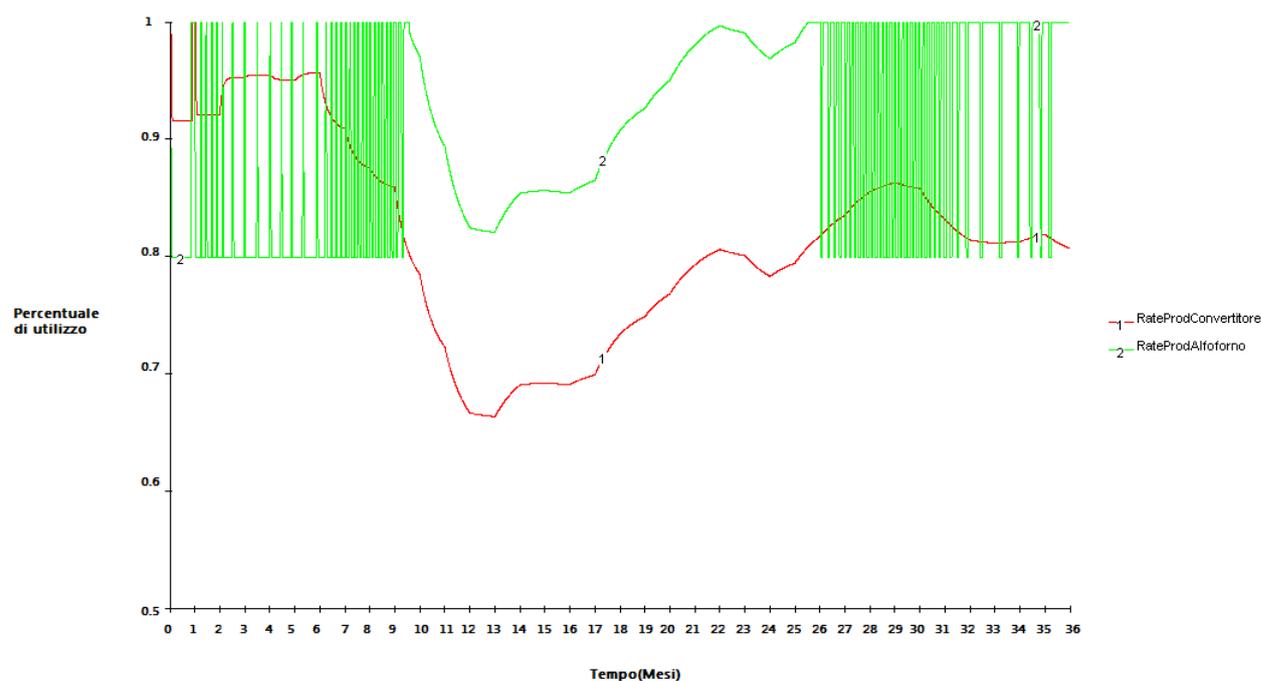


Figura 4.17: Grado di utilizzo degli altoforni e convertitori

4.2 Seconda simulazione: uso del magazzino

Nella seconda simulazione vengono proposti i seguenti prezzi delle materie prime.

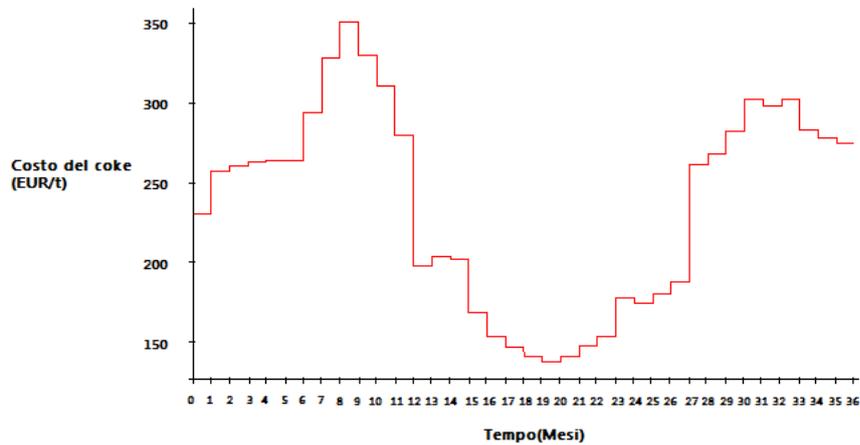


Figura 4.18: Andamento del costo del coke anni 2008 2009 2010

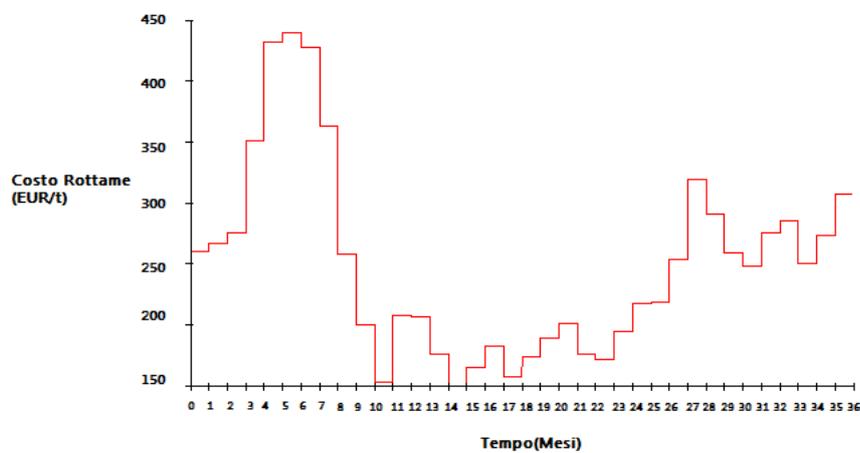


Figura 4.19: Andamento del costo del rottame anni 2008 2009 2010

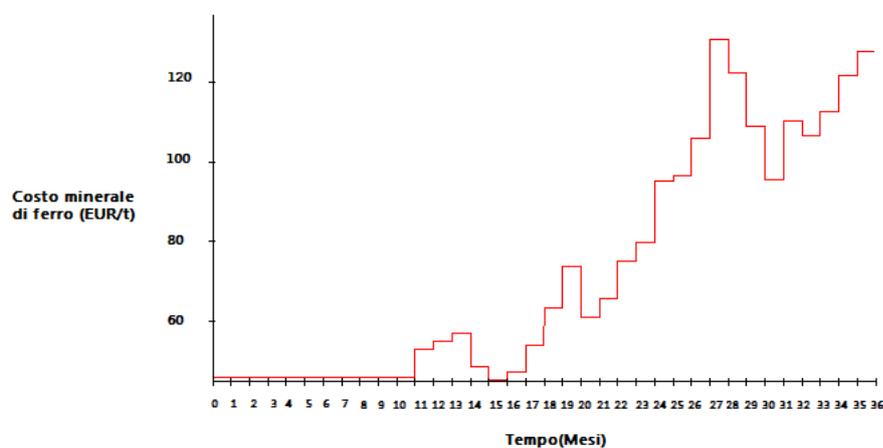


Figura 4.20: Andamento del costo del minerale di ferro anni 2008 2009 2010

Le seguenti figure (4.18, 4.19, 4.20) rappresentano l'andamento dei prezzi per gli anni 2008 2009 2010 (Eurofer, Indexmundi, Steelonthenet) rispettivamente del coke del rottame e del minerale di ferro. Non è stato considerato l'andamento dei prezzi del calcare data la sua poca importanza nel processo produttivo e il suo basso costo. Dall'osservazione di queste curve sorge spontaneo chiedersi se magari non convenga accumulare alcune di queste materie prime, comprandole, nei periodi in cui il prezzo è più basso, per poi avere un vantaggio competitivo quando queste raggiungono picchi di prezzo altissimi. Ovviamente in tal caso ci sarebbero dei costi di magazzino in più da sostenere.

La simulazione è stata effettuata in entrambi i casi con 3 altoforni e 7 convertitori e una curva di mercato costante al 90%, ovvero il 90% della produzione massima degli impianti viene venduta. Nella S4 si è deciso di accumulare le materie prime solo nel caso in cui il loro prezzo di mercato fosse minore o uguale alla media dei prezzi nei tre anni.

	S3	S4
Numero di altoforni	3	3
Numero di convertitori	7	7
Pezzi prodotti	20.6 milioni di tonnellate	20.6 milioni di tonnellate
Pezzi venduti	19.5 milioni di tonnellate	19.5 milioni di tonnellate
Dipendenti	35084	35084
Ricavi	15000000000 Euro	15000000000 Euro
Spese	9300000000 Euro	9400000000 Euro
Costo materie prime	7300000000 Euro	7000000000 Euro
Costo magazzino	73 milioni	400 milioni
Reddito operativo	6100000000 Euro	6000000000 Euro

Tabella 4.2: Dati relativi alle simulazioni S3, S4

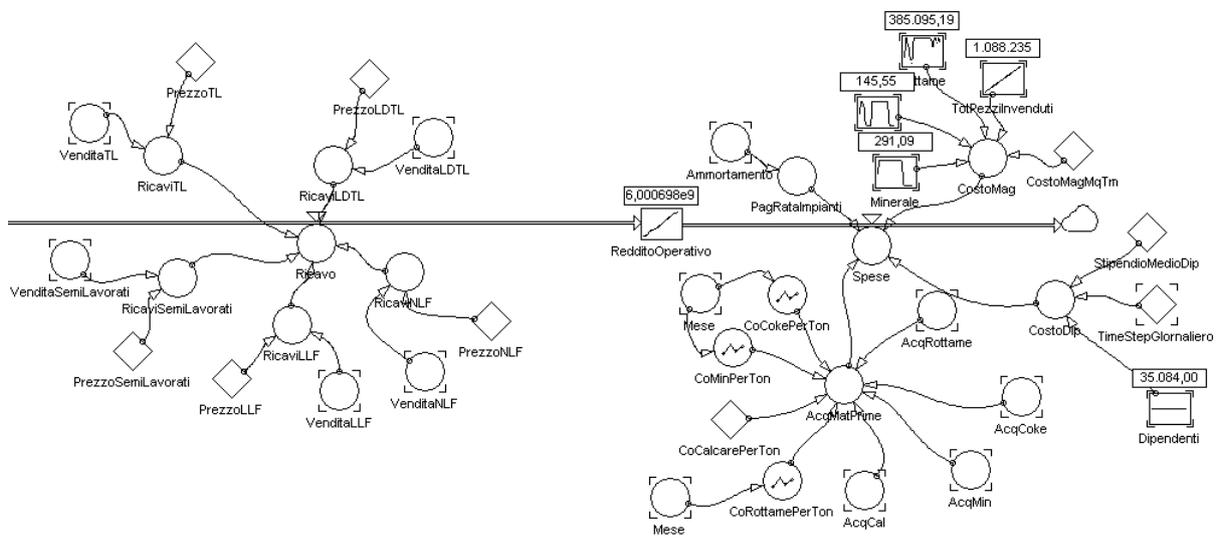


Figura 4.23: Reddito operativo S4

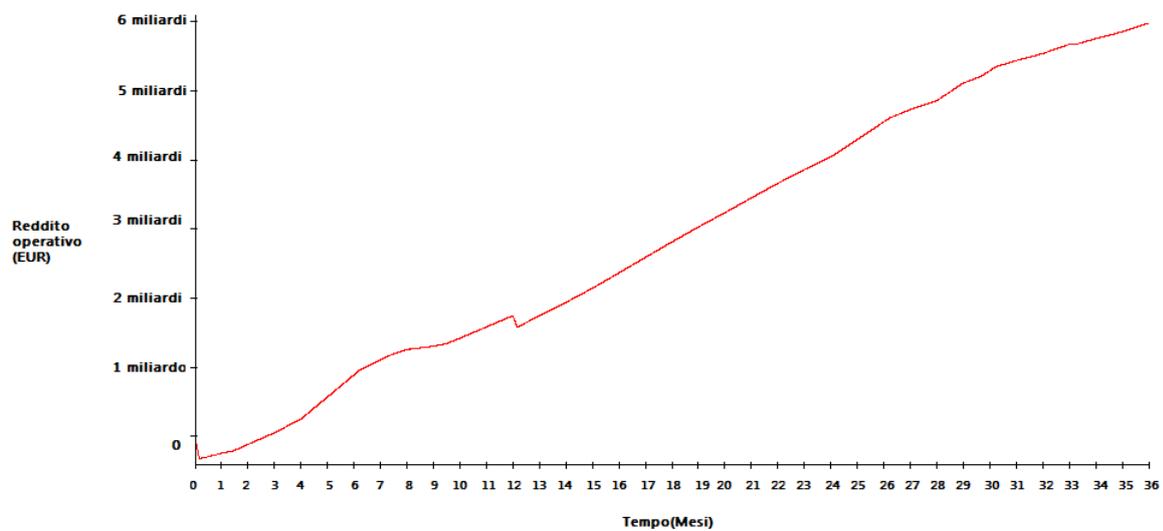


Figura 4.24: Grafico reddito operativo S4

Anche osservando i ricavi e le uscite totali notiamo come a fare la differenza sono proprio i costi di magazzino. Nella S4 infatti, si riesce ad ottimizzare il costo delle materie prime acquistandole quando i prezzi risultano più bassi, spendendo in totale, per le sole materie prime, 7 miliardi di euro con un risparmio di circa 300 milioni rispetto alla S3. Ma andando ad osservare i costi di magazzino si nota come nella S4 si è costretti a pagare, per l'affitto dei magazzini, un prezzo molto maggiore rispetto alla S3, 400 milioni contro soli 73 milioni.

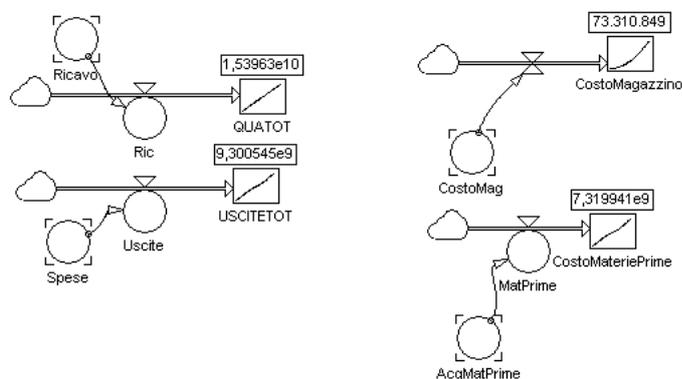


Figura 4.25: Ricavi e uscite S3

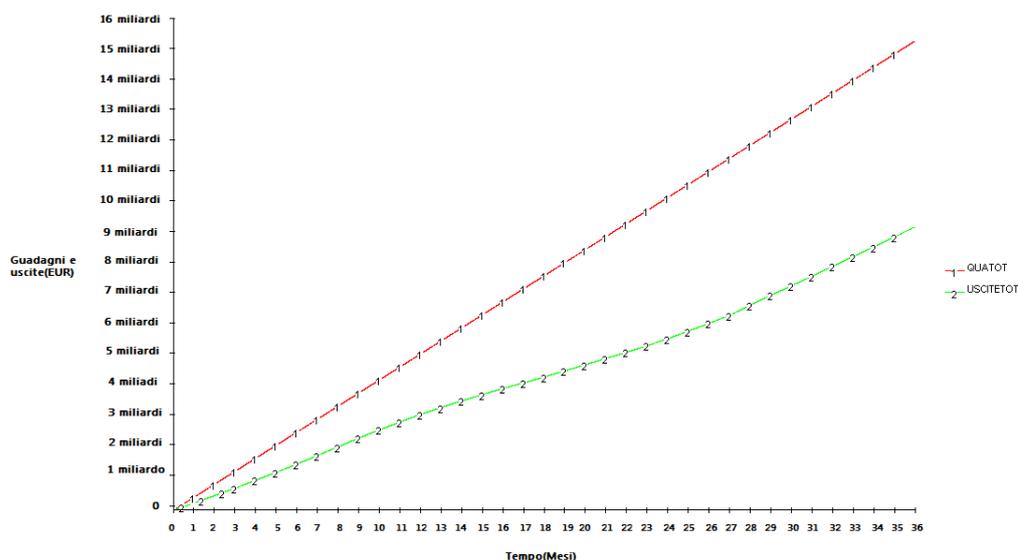


Figura 4.26: Grafico ricavi e uscite S3

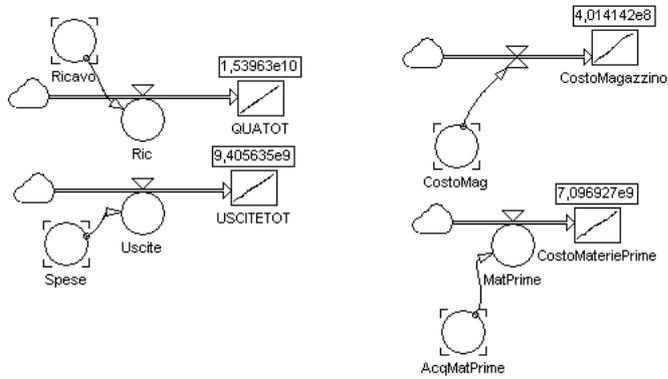


Figura 4.27: Ricavi e uscite S4

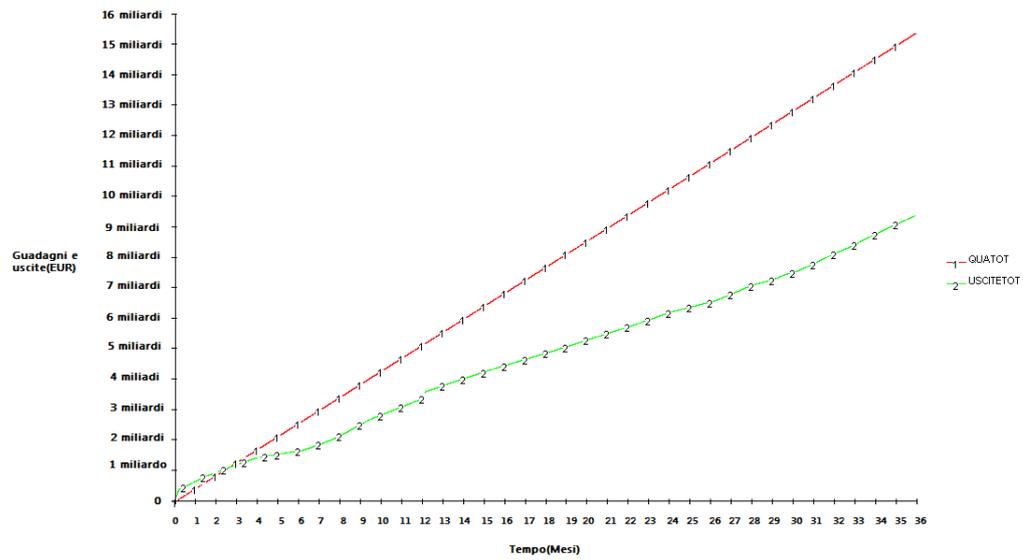


Figura 4.28: Grafico ricavi e uscite S4

I dati relativi ai pezzi venduti, invenduti e prodotti mostrano come in questo caso non ci sia nessuna differenza tra le 2 simulazioni, infatti entrambe producono 20.6 milioni di ton pezzi, ne vendono 19.6 e hanno un milione circa di pezzi invenduti.

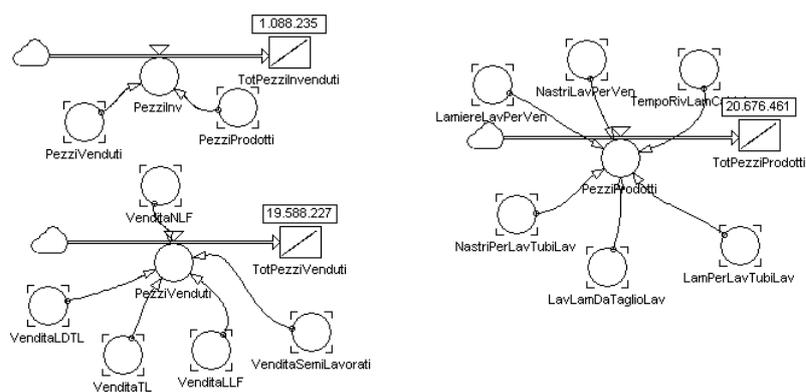


Figura 4.29: Pezzi prodotti, venduti, invenduti S3

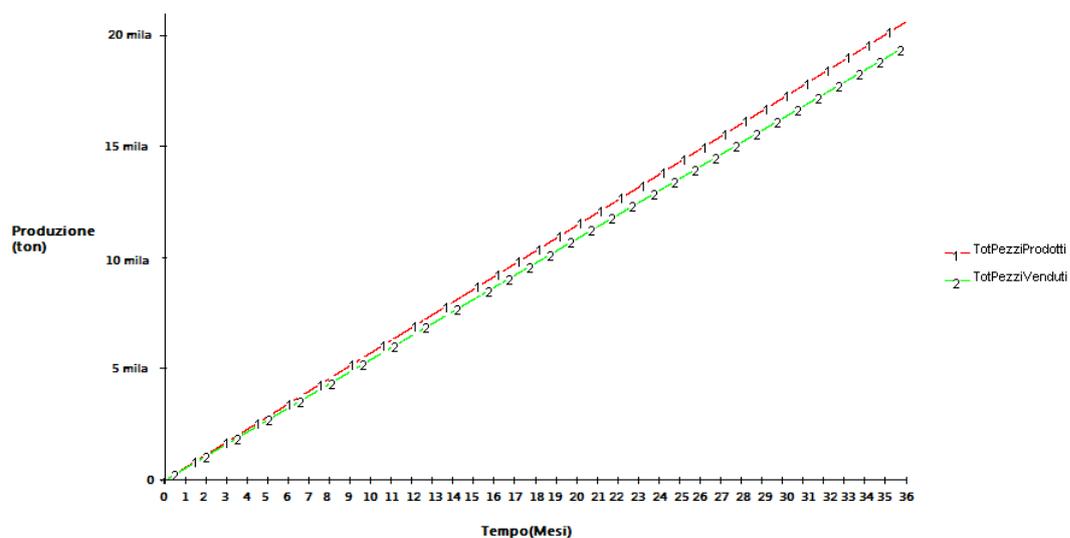


Figura 4.30: Grafico pezzi prodotti, venduti, invenduti S3

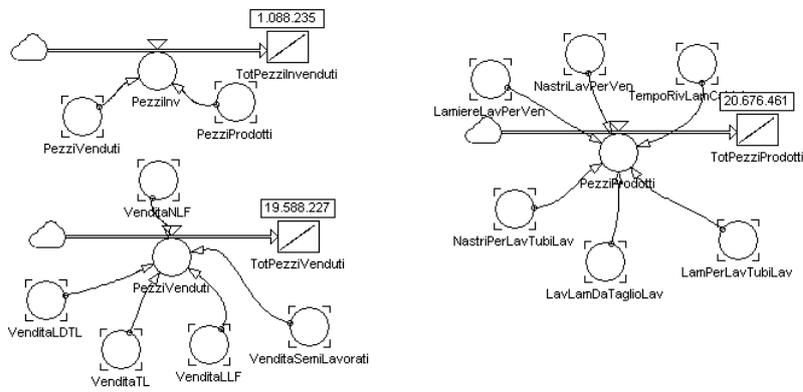


Figura 4.31: Pezzi prodotti, venduti, invenduti S4

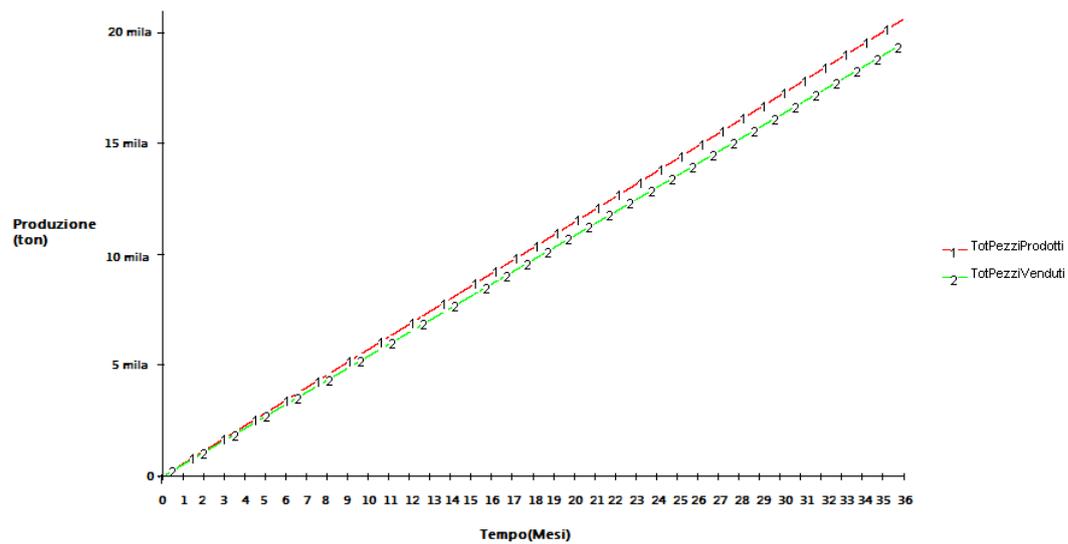


Figura 4.32: Grafico pezzi prodotti, venduti, invenduti S4

4.3 Terza simulazione: percentuale di ghisa in base ai prezzi e al grado di utilizzo degli altoforni

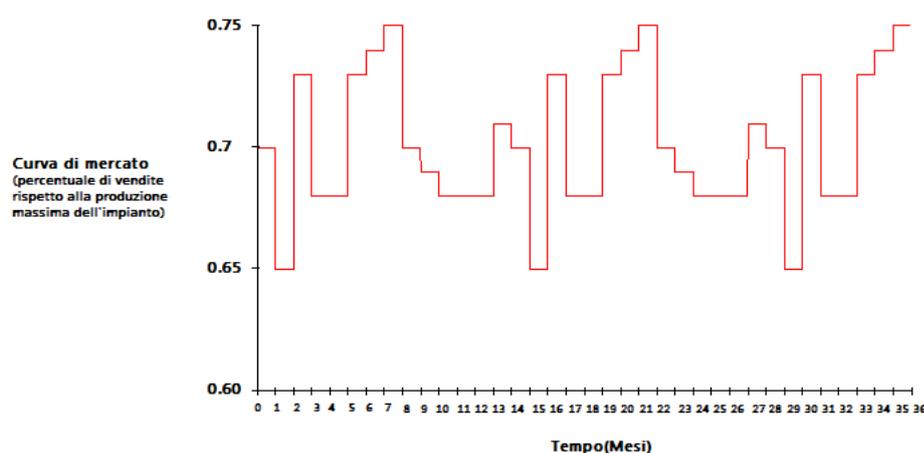


Figura 4.33: Curva di mercato simulazione 5 e 6

In questa simulazione, dato l'andamento dei prezzi delle materie prime della simulazione precedente (figure 4.18, 4.19, 4.20), e data la seguente curva di mercato, figura 4.33, si è deciso di confrontare due possibili scenari, uno (S5) in cui la percentuale di ghisa utilizzata nei convertitori fosse fissa al 80%, e l'altra (S6) in cui a seconda dell'andamento dei prezzi viene variata tale percentuale assumendo due possibili valori 70% e 80%. Nella S6 viene di volta in volta confrontato il costo di produzione dell'acciaio, dato il prezzo attuale dei materiali, con l'utilizzo del 70% di ghisa e con l'80% assegnando poi di volta in volta alla percentuale di ghisa il valore che garantisce un costo di produzione minore.

Per evitare che vi fosse un accumulo di ghisa, si è preferito tenere conto sempre del grado di utilizzo degli altoforni, nel caso in cui siano utilizzati all'80% la percentuale di ghisa utilizzata nel processo produttivo dell'acciaio rimane bloccata all'80%. Nelle due simulazioni si è scelto di utilizzare 2 altoforni e 7 convertitori. E' stata scelta la seguente curva di mercato (figura 4.33) per rendere più evidente il vantaggio che si ha nel variare le percentuali di ghisa a seconda dell'andamento dei prezzi delle materie prime sul mercato.

	S5	S6
Numero di altoforni	2	2
Numero di convertitori	7	7
Pezzi prodotti	16.3 milioni di tonnellate	16.3 milioni di tonnellate
Pezzi venduti	15.2 milioni di tonnellate	15.2 milioni di tonnellate
Dipendenti	23389	23389
Ricavi	12000000000 Euro	12000000000 Euro
Spese	7000000000 Euro	6800000000 Euro
Reddito operativo	4900000000 Euro	5200000000 Euro

Tabella 4.3: Dati relativi alle simulazioni S5, S6

Come si può notare, osservando nel dettaglio i dati relativi al reddito operativo, ottimizzando la percentuale di ghisa in base al costo delle materie prime si riesce ad avere un guadagno di circa 400 milioni in tre anni. Nella S5 il reddito operativo sia attesta sui 4.9 miliardi di euro mentre nella S6 5.1 miliardi di euro.

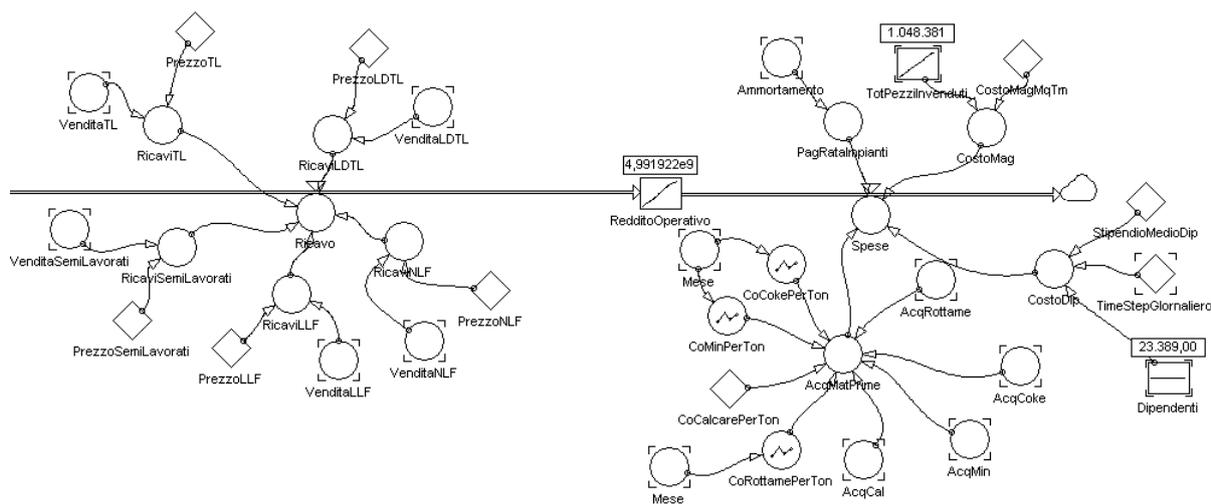


Figura 4.34: Reddito Operativo S5

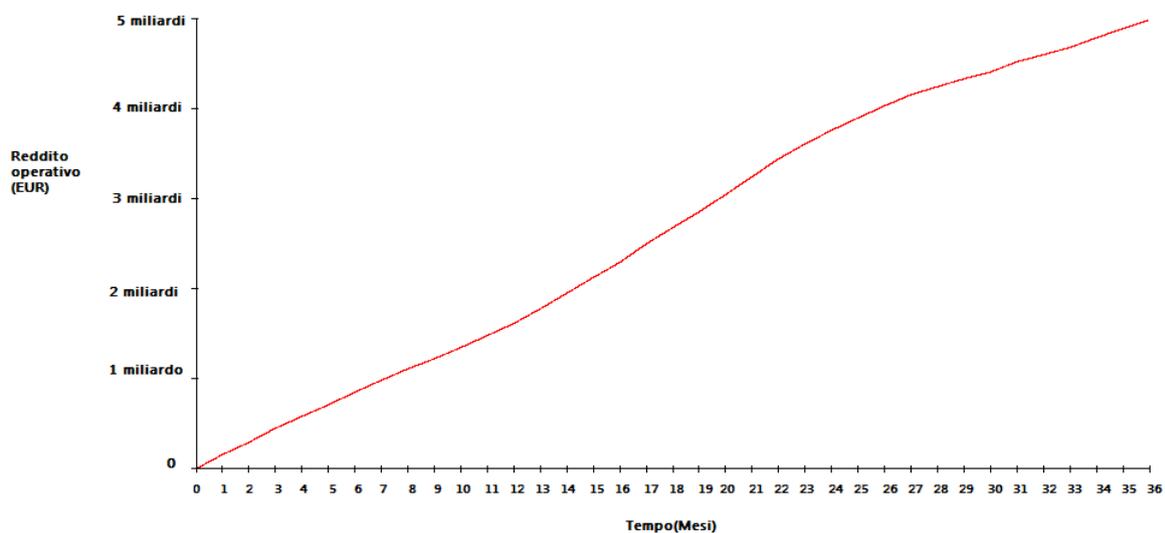


Figura 4.35: Grafico reddito operativo S5

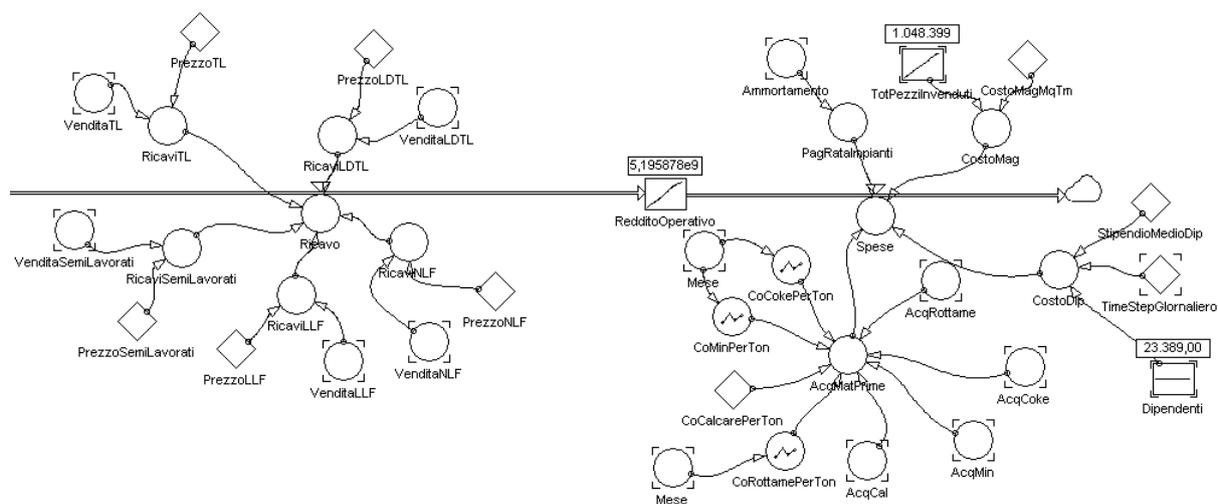


Figura 4.36: Reddito operativo S6

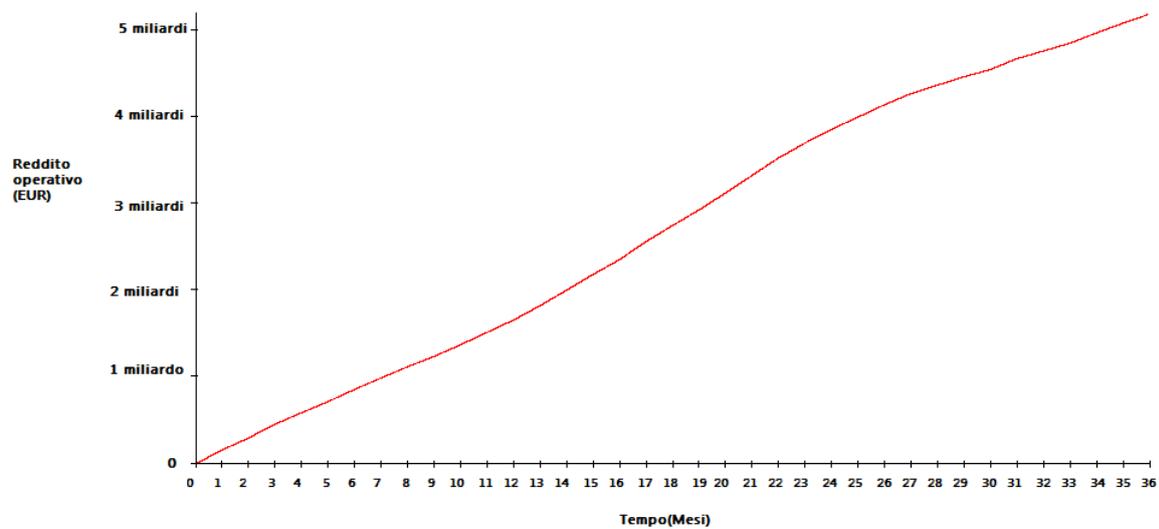


Figura 4.37: Grafico reddito operativo S6

Osservando nel dettaglio i ricavi e le uscite notiamo come tale ottimizzazione va ad incidere nelle uscite, ovvero nel costo delle materie prime, riuscendo ad abbassarne notevolmente il costo. Infatti nella S5 le uscite totali si attestano sui 7 miliardi mentre e nella S6 sono 6.8 miliardi.

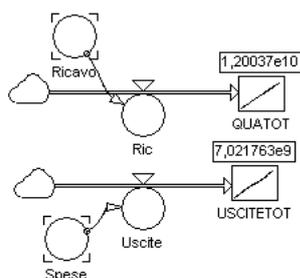


Figura 4.38: Ricavi e uscite S5

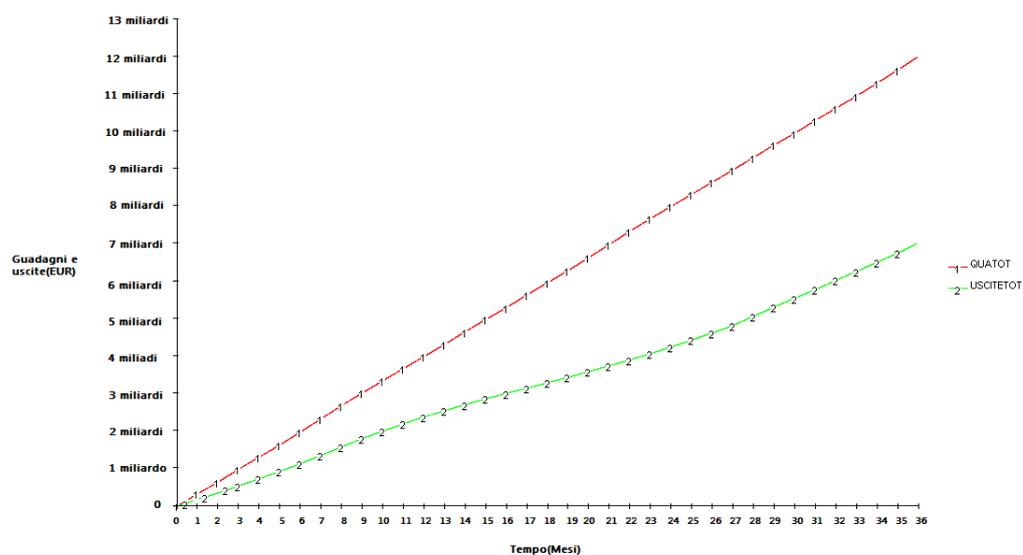


Figura 4.39: Grafico ricavi e uscite S5

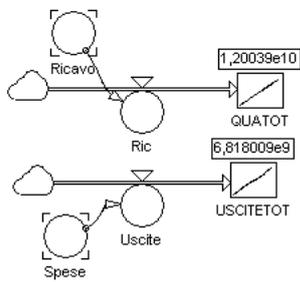


Figura 4.40: Ricavi e uscite S6

Come possiamo notare i pezzi prodotti e venduti e quelli rimanenti in magazzino sono gli stessi, non vi è nessuna variazione sia nella produzione sia nelle vendite.

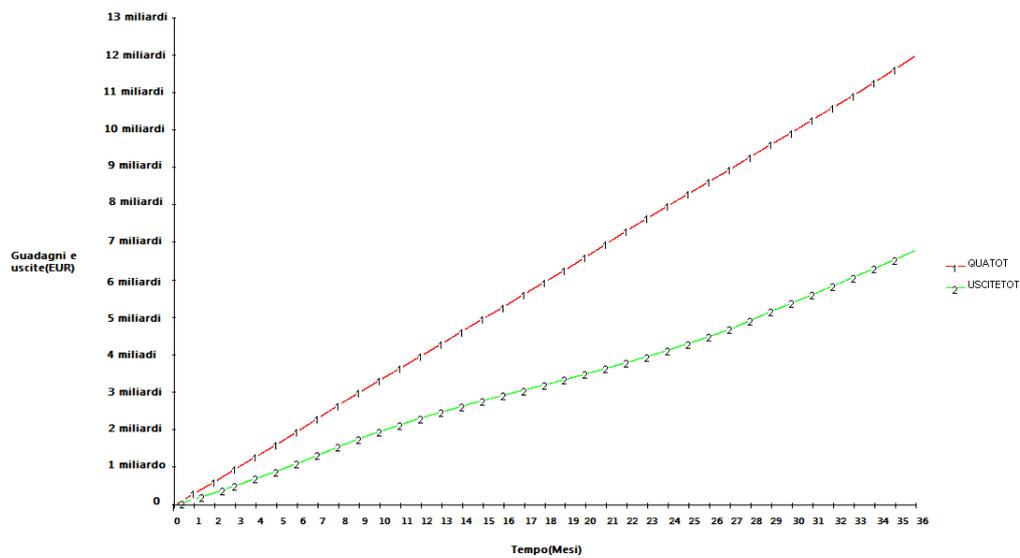


Figura 4.41: Grafico ricavi e uscite S6

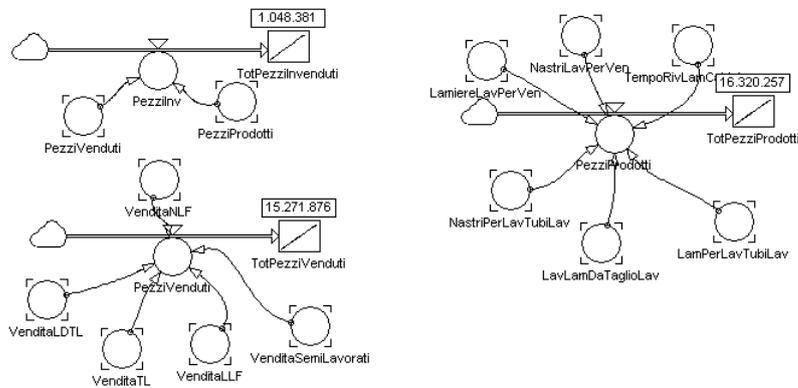


Figura 4.42: Pezzi prodotti, venduti, invenduti S5

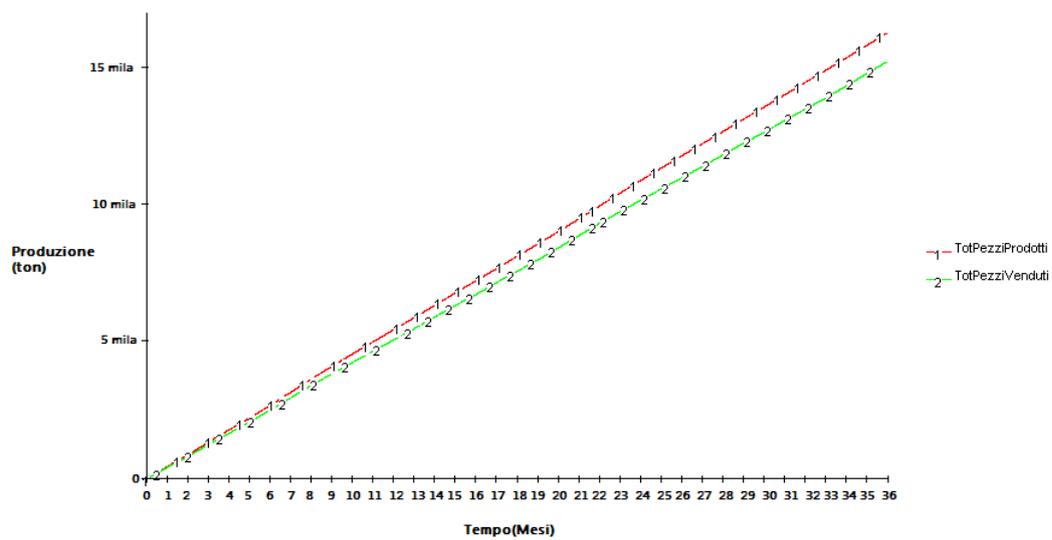


Figura 4.43: Grafico pezzi prodotti, venduti, invenduti S5

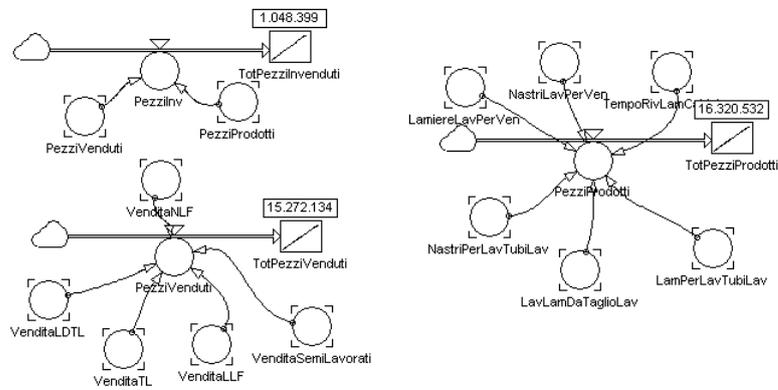


Figura 4.44: Pezzi prodotti, venduti, invenduti S6

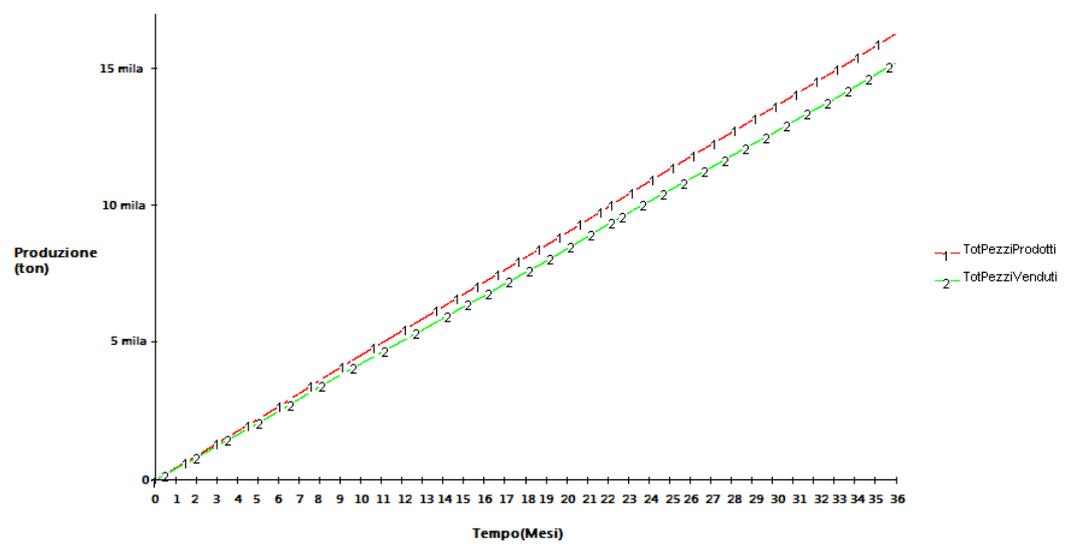


Figura 4.45: Grafico pezzi prodotti, venduti, invenduti S6

Il grafico 4.47 mostra come la percentuale di ghisa vari anche molto spesso a seconda sia del prezzo delle materie prime che della produzione degli altoforni, rendendo il processo di produzione dell'acciaio molto più efficiente.

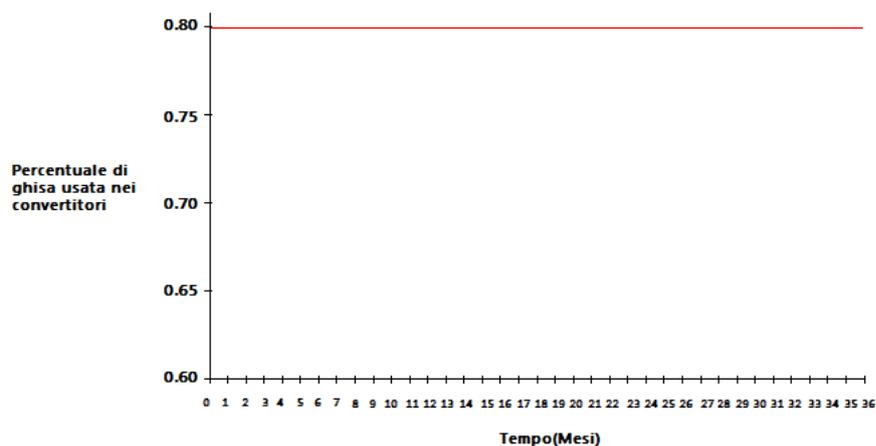


Figura 4.46: Andamento della percentuale di ghisa S5

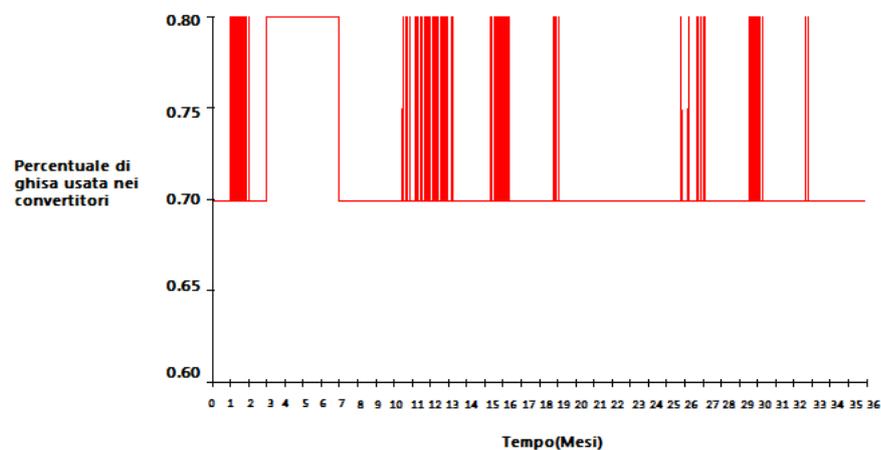


Figura 4.47: Andamento della percentuale di ghisa S6

Capitolo 5

Conclusioni

Per concludere questa analisi sul processo produttivo dell'acciaio si è deciso di confrontare una simulazione (S8) che non contiene nessuna «ottimizzazione» vista nelle simulazioni precedenti con un'altra (S7) in cui invece sono state inserite tutte. Queste due ultime simulazioni sono state realizzate tenendo conto della curva di domanda relativa al grado di utilizzo degli impianti mondiali negli ultimi 3 anni (dal 2008 al 2010) già vista in precedenza (figura 4.1) e dell'andamento negli stessi anni dei prezzi di coke (figura 4.18), rottame (figura 4.19) e minerale di ferro (figura 4.20).

	S7	S8
Numero di altoforni	2	3
Numero di convertitori	7	7
Pezzi prodotti	17.5 milioni di tonnellate	17.7 milioni di tonnellate
Pezzi venduti	16.5 milioni di tonnellate	16.6 milioni di tonnellate
Dipendenti	23389	35084
Ricavi	13000000000 Euro	13000000000 Euro
Spese	7300000000 Euro	9100000000 Euro
Reddito operativo	5660000000 Euro	3900000000 Euro

Tabella 5.1: Dati relativi alle simulazioni S7, S8

I dati relativi al reddito operativo mostrano un guadagno sorprendentemente maggiore della S7 rispetto alla S8; infatti la S7, con 2 altoforni e ottimizzata per quanto riguarda la percentuale di ghisa, ha un guadagno di 5.6 miliardi (figure 5.1, 5.2) mentre la S8 ha un guadagno, nell'arco dei tre anni, soltanto di 3.9 miliardi (figure 5.3, 5.4).

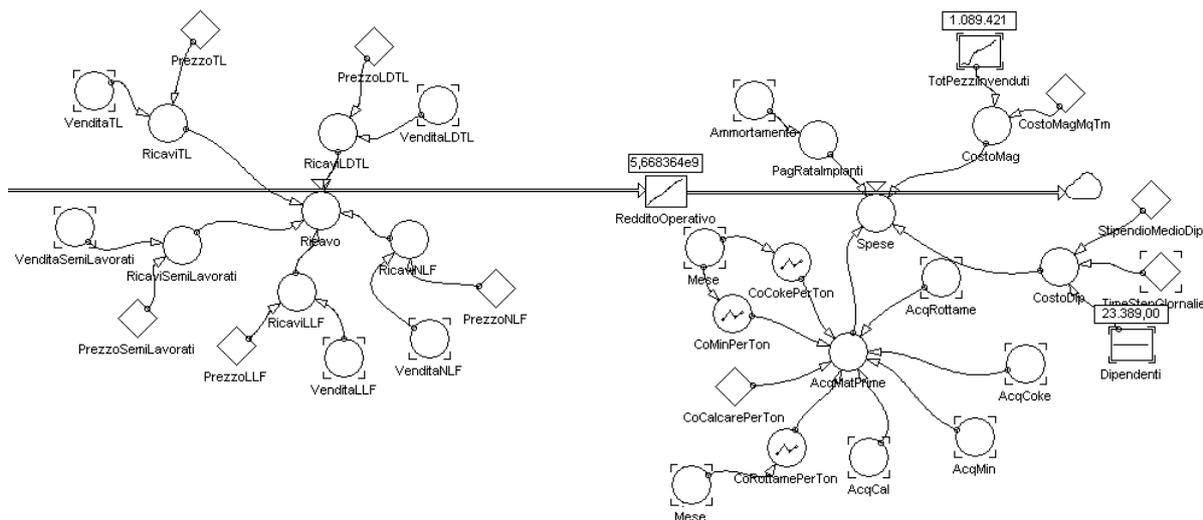


Figura 5.1: Reddito Operativo S7

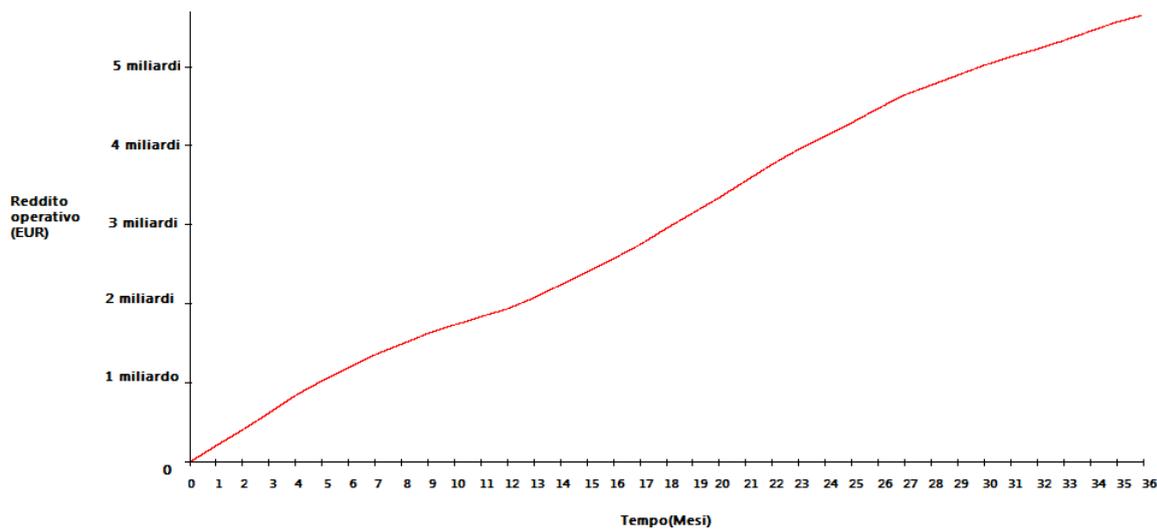


Figura 5.2: Grafico reddito operativo S7

Come si può osservare la vera differenza tra le due simulazioni è ancora una volta nelle uscite (figure 5.5, 5.6, 5.7, 5.8). Infatti l'uso di 2 altoforni permette di avere lo stesso guadagno, ma di minimizzare gli sprechi di ghisa. In più l'utilizzo della percentuale di ghisa variabile, in base ai prezzi del mercato e alla produzione degli altoforni, accentua ulteriormente la differenza tra le due simulazioni. Le uscite per la S7 sono 7.3 miliardi mentre per la S8 sono 9.1 miliardi.

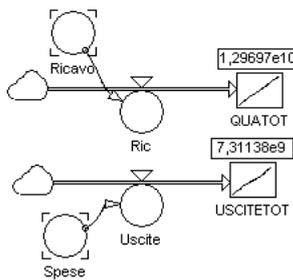


Figura 5.5: Ricavi e uscite S7

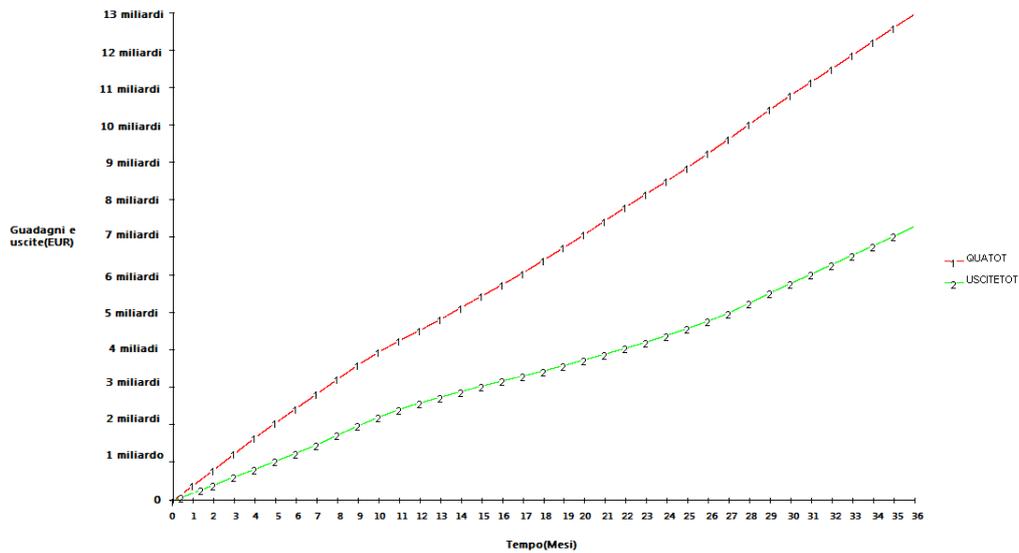


Figura 5.6: Grafico ricavi e uscite S7

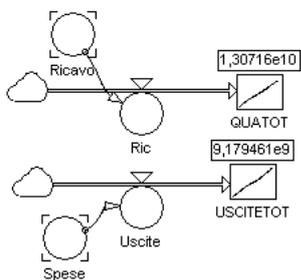


Figura 5.7: Ricavi e uscite S8

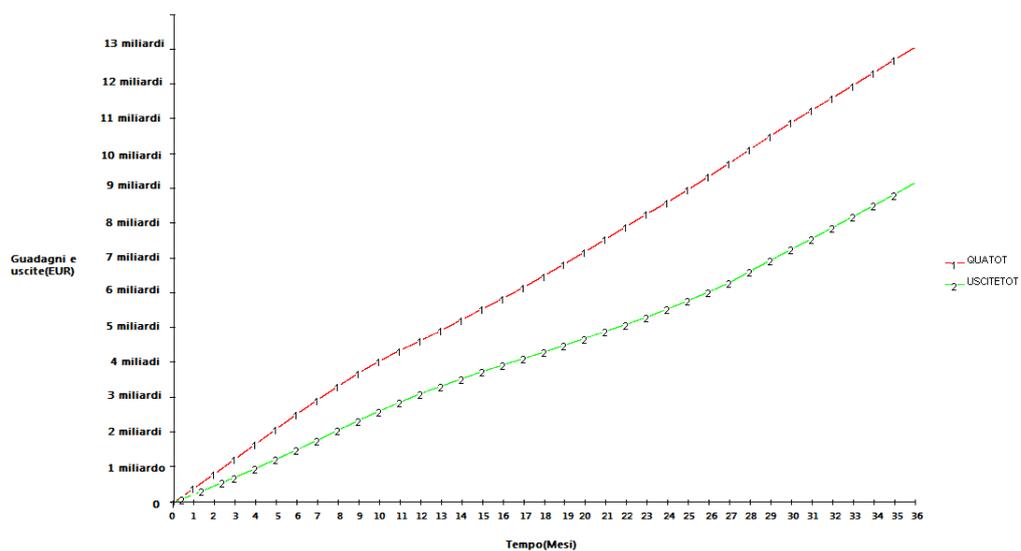


Figura 5.8: Grafico ricavi e uscite S8

I pezzi prodotti, come dimostrano i dati, sono sostanzialmente gli stessi (figure 5.9, 5.10, 5.11, 5.12), si riesce quindi ad avere lo stesso grado produttivo usando al meglio le materie prime a disposizione.

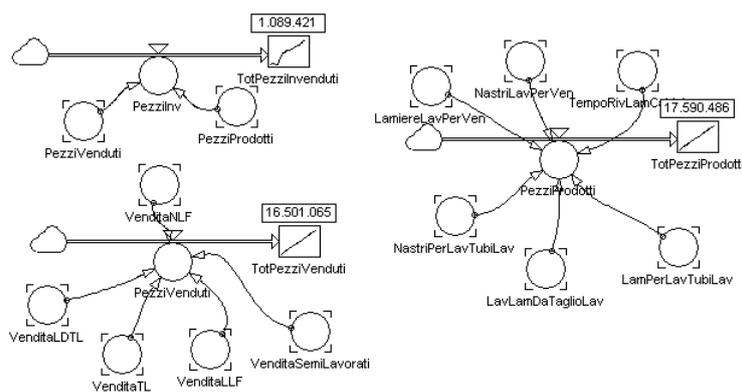


Figura 5.9: Pezzi prodotti, venduti, invenduti S7

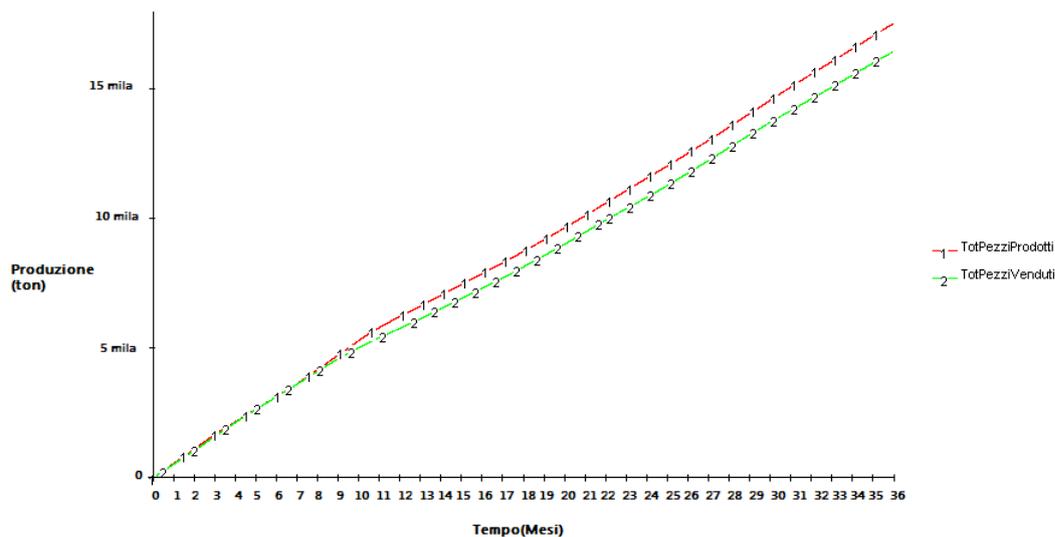


Figura 5.10: Grafico pezzi prodotti, venduti, invenduti S7

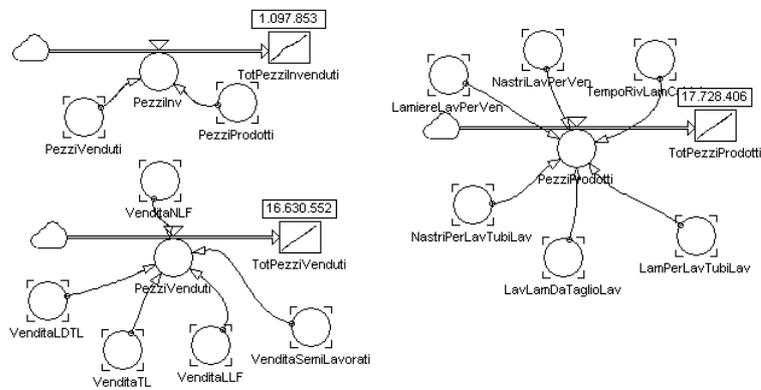


Figura 5.11: Pezzi prodotti, venduti, invenduti S8

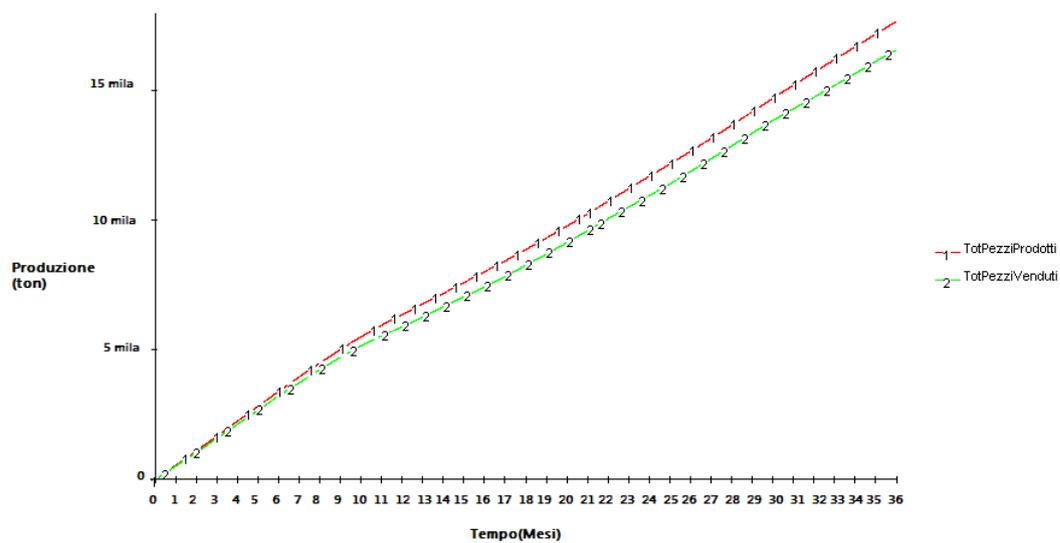


Figura 5.12: Grafico pezzi prodotti, venduti, invenduti S8

Infine è molto interessante visualizzare i gradi di utilizzo di convertitori e altoforni per quanto riguarda la S7. L'utilizzo di due convertitori permette un migliore adattamento del processo produttivo al mercato come è dimostrato dal grafico in figura 5.13.

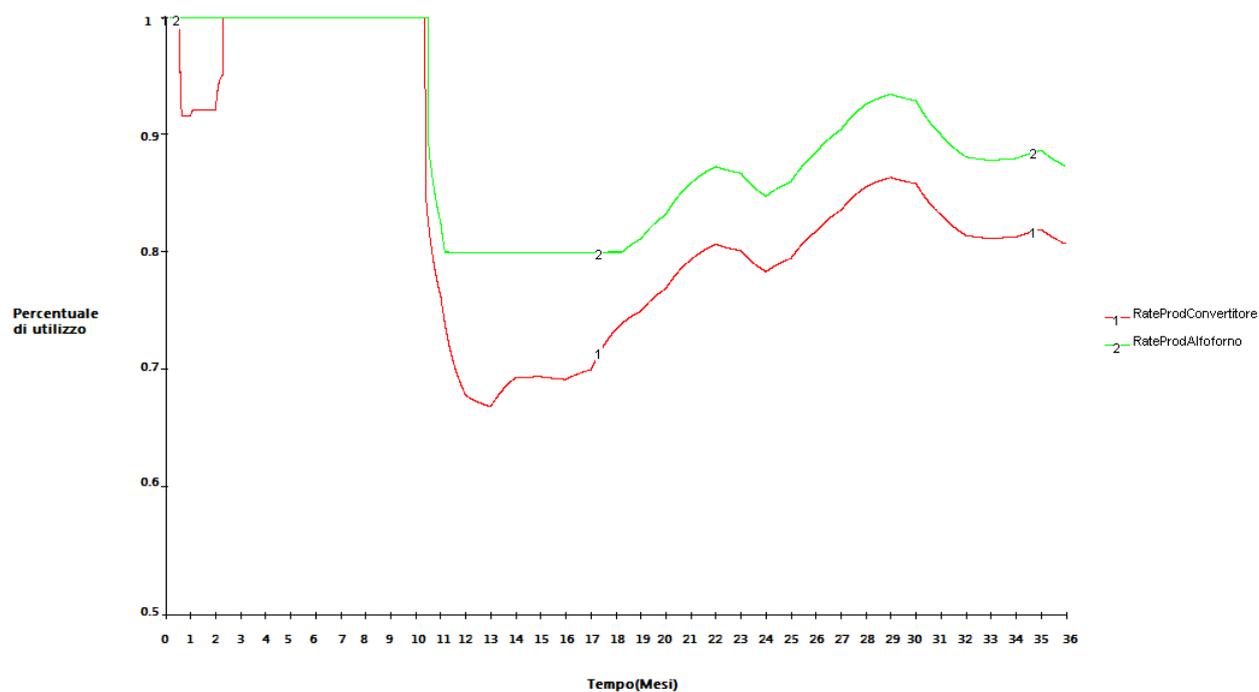


Figura 5.13: Grado di utilizzo altoforno e convertitore S7

In conclusione dalle tre simulazioni fatte, oltre questa di riepilogo, si può capire come sia importante, per aziende a ciclo integrale, la disponibilità di magazzini molto grandi, così come una gestione molto attenta ed efficiente della logistica. Questo permette:

- di acquistare le materie prime ai prezzi più bassi
- gestire in maniera efficiente la produzione di acciaio, abbassando il costo unitario di produzione
- mantenere livelli produttivi non troppo bassi, conservando i prodotti finiti per poi immetterli nel mercato al momento opportuno.

L'ultimo punto è molto importante perché la produzione di acciaio, tramite ciclo integrato, non è economicamente vantaggiosa per via dei costi fissi se vengono utilizzati gli altoforni al di sotto di un determinato grado di produzione (80%). In questo caso si hanno due possibili strade:

- spegnere gli altoforni non necessari, come nel caso della simulazione precedentemente vista, adattandosi il più possibile all'andamento del mercato
- tenere accessi gli altoforni, producendo più di quanto richiesto dal mercato, conservando i prodotti finiti per poi venderli in seguito sperando in un aumento delle richieste sul mercato.

Quest'ultima tesi è confermata anche dalle parole rilasciate il 21 aprile 2011 al «Corriere Del Mezzogiorno» da Emilio Riva (presidente del gruppo Riva), che a proposito della crisi dell'acciaio di quel periodo, ha dichiarato che avrebbero predisposto degli spazi idonei a conservare oltre tre milioni di tonnellate di prodotti finiti proprio per abbassare i costi fissi. I magazzini inoltre permettono risparmi anche sulle materie prime, come osservato nella seconda simulazione, a patto che questi siano di proprietà dell'azienda e non debbano essere presi in affitto. Possiamo notare infine come sia importante, anche se molto difficile, l'organizzazione dell'intero processo produttivo. Uno dei problemi delle

aziende a ciclo integrato è proprio quello di non poter interrompere il ciclo produttivo; questo da un lato impedisce, come già spiegato in precedenza, il pieno adattamento del processo al mercato, dall'altro impone una perfetta coordinazione tra i vari processi produttivi minimizzando se possibile tutti gli sprechi. E' necessario quindi che l'intero processo produttivo sia continuamente monitorato adattandolo alle logiche di mercato senza però perdere mai di vista l'efficienza produttiva:

- adattando le percentuali di ghisa e rottame nella produzione di acciaio a seconda dei costi delle materie prime (tenendo però anche conto della produzione di ghisa e del grado di utilizzo degli altoforni che si hanno a disposizione)
- effettuando un'interconnessione il più possibile perfetta tra le fasi di preparazione della carica, produzione di ghisa, produzione di acciaio, affinazione dell'acciaio fino alle operazioni di colata e laminazione.

Ne concludiamo che, sebbene molto importante in tutte le produzioni, quella della coordinazione dei vari processi produttivi è di vitale importanza in una azienda a ciclo integrato. Il vantaggio competitivo per aziende di questo tipo si gioca quindi su tre elementi principali:

1. logistica
2. costi fissi (grado di utilizzo degli altoforni)
3. riduzione degli sprechi coordinando al meglio l'intero processo produttivo.

Soltanto agendo su questi tre fattori infatti è possibile, per una azienda a ciclo integrato, il migliore adattamento al mercato, sia per quanto riguarda la vendita dei prodotti finiti sia per quanto riguarda l'acquisto delle materie prime.

Capitolo 6

Equazioni del Modello

- Acciaio
 $\text{INIT } 0$
 $\Leftrightarrow -dt^*LavSiviera$
 $\quad +dt^*RotPerRiduzione$
 $\quad +dt^*GhPerRiduzione$
- AcciaioLav
 $\text{INIT } 0$
 $\Leftrightarrow +dt^*LavSiviera$
 $\quad -dt^*ColContLav$
- AcciaioProdotto
 $\text{INIT } 0$
 $\Leftrightarrow +dt^*ProduzioneAcciaio$
- AcciaioRivestitoLav
 $\text{INIT } 0$
 $\Leftrightarrow -dt^*LavLamDaTaglioLav$
 $\quad -dt^*LavNastriLav$
 $\quad +dt^*TempoRivLamFreddoLav$
- Altoforni
 $\text{INIT } 3$
 $\Leftrightarrow -dt^*RimAltoforno$
 $\quad +dt^*AggAltoforno$
- BrammeLav
 $\text{INIT } 0$
 $\Leftrightarrow -dt^*LamCaldoLav$
 $\quad -dt^*LamLamieraLav$
 $\quad +dt^*ColContLav$
- Calcare
 $\text{INIT } 0$
 $\Leftrightarrow -dt^*CalcarePerCarica$
 $\quad +dt^*AcqCal$
- Carica
 $\text{INIT } 0$
 $\Leftrightarrow +dt^*CalcarePerCarica$
 $\quad +dt^*MineralePerCarica$
 $\quad +dt^*CokePerCarica$
 $\quad -dt^*Fusione$
- Coke
 $\text{INIT } 0$
 $\Leftrightarrow -dt^*CokePerCarica$
 $\quad +dt^*AcqCoke$
- CostoDipendenti
 $\text{INIT } 0$
 $\Leftrightarrow +dt^*CostoDip$

- CostoMagazzino
 $\text{INIT} \ 0$
 $\text{C} \rightarrow +dt * \text{CostoMag}$
- CostoMateriePrime
 $\text{INIT} \ 0$
 $\text{C} \rightarrow +dt * \text{MatPrime}$
- Dipendenti
 $\text{INIT} \ 23389$
 $\text{C} \rightarrow -dt * \text{LicDip}$
 $\quad +dt * \text{AssDip}$
- Ghisa
 $\text{INIT} \ 0$
 $\text{C} \rightarrow +dt * \text{ProduzioneGhisaEff}$
- GhisaDiPrFus
 $\text{INIT} \ 0$
 $\text{C} \rightarrow -dt * \text{GhPerRiduzione}$
 $\quad -dt * \text{scorie}$
 $\quad +dt * \text{Fusione}$
- LamiereDaTaglioLav
 $\text{INIT} \ 0$
 $\text{C} \rightarrow -dt * \text{VenditaLDTL}$
 $\quad +dt * \text{LavLamDaTaglioLav}$
- LamiereLav
 $\text{INIT} \ 0$
 $\text{C} \rightarrow -dt * \text{LamPerLavTubiLav}$
 $\quad -dt * \text{LamiereLavPerVen}$
 $\quad +dt * \text{LamLamiereLav}$
- LamiereLavFin
 $\text{INIT} \ 0$
 $\text{C} \rightarrow -dt * \text{VenditaLLF}$
 $\quad +dt * \text{LamiereLavPerVen}$
- LDTLVenduti
 $\text{INIT} \ 0$
 $\text{C} \rightarrow +dt * \text{VenditaLDTL}$
- LLFVendute
 $\text{INIT} \ 0$
 $\text{C} \rightarrow +dt * \text{VenditaLLF}$
- Minerale
 $\text{INIT} \ 0$
 $\text{C} \rightarrow -dt * \text{MineralePerCarica}$

- NastriLav
INIT 0
⇌ $-dt*NastriLavPerVen$
⇌ $-dt*NastriPerLavTubiLav$
⇌ $+dt*LavNastriLav$
- NastriLavFin
INIT 0
⇌ $-dt*VenditaNLF$
⇌ $+dt*NastriLavPerVen$
- NLFVenduti
INIT 0
⇌ $+dt*VenditaNLF$
- ProdLamCaldoLav
INIT 0
⇌ $-dt*TempoRivLamCaldoLav$
⇌ $-dt*LamFreddoLav$
⇌ $+dt*LamCaldoLav$
- ProdLamFreddoLav
INIT 0
⇌ $+dt*LamFreddoLav$
⇌ $-dt*TempoRivLamFreddoLav$
- QUATOT
INIT 0
⇌ $+dt*Ric$
- RedditoOperativo
INIT 10000000
⇌ $-dt*Spese$
⇌ $+dt*Ricavo$
- Rottame
INIT 0
⇌ $+dt*AcqRottame$
⇌ $-dt*RotPerRiduzione$
- SemiLavorati
INIT 0
⇌ $-dt*VenditaSemiLavorati$
⇌ $+dt*TempoRivLamCaldoLav$
- SemiLavoratiVenduti
INIT 0
⇌ $+dt*VenditaSemiLavorati$

- TLVenduti
 $\text{INIT } 0$
 $\Leftrightarrow +dt * \text{VenditaTL}$
- TotPezziInvenduti
 $\text{INIT } 0$
 $\Leftrightarrow +dt * \text{PezziInv}$
- TotPezziProdotti
 $\text{INIT } 0$
 $\Leftrightarrow +dt * \text{PezziProdotti}$
- TotPezziVenduti
 $\text{INIT } 0$
 $\Leftrightarrow +dt * \text{PezziVenduti}$
- TubiLav
 $\text{INIT } 0$
 $\Leftrightarrow -dt * \text{VenditaTL}$
 $+dt * \text{NastriPerLavTubiLav}$
 $+dt * \text{LamPerLavTubiLav}$
- USCITETOT
 $\text{INIT } 0$
 $\Leftrightarrow +dt * \text{Uscite}$
- ValoreImpianti
 $\text{INIT } \text{TotImpianti}$
 $\Leftrightarrow -dt * \text{Ammortamento}$
- \Rightarrow AcqCal
 $= \text{IF}((\text{Calcare} < \text{GtaCalcare}) \text{ AND } (\text{Carica} < \text{CaricaNecessaria}), \text{GtaCalcare}, 0)$
- \Rightarrow AcqCoke
 $= \text{IF}(((\text{Coke} < \text{GtaCoke}) \text{ AND } (\text{Carica} < \text{CaricaNecessaria})), \text{GtaCoke}, 0)$
- \Rightarrow AcqMin
 $= \text{IF}(((\text{Minerale} < \text{GtaMinerale}) \text{ AND } (\text{Carica} < \text{CaricaNecessaria})), \text{GtaMinerale}, 0)$
- \Rightarrow AcqRottame
 $= \text{IF}((\text{Rottame} < \text{QuanRottame}), \text{QuanRottame}, 0)$
- \Rightarrow AggAltoforno
 $= \text{IF}((\text{Altoforni} > 1 \text{ AND } \text{ProdAltoforno} > 1.6), 1, 0)$
- \Rightarrow Ammortamento
 $= \text{IF}((\text{ValoreImpianti} > 0), (\text{TotImpianti} / 10) / 34560, 0)$
- \Rightarrow AssDip
 $= \text{IF}((\text{Dipendenti} < \text{DipDesiderati}), \text{NumAssunzioniGiorn} / \text{TempoAssLic}, 0)$
- \Rightarrow CalcarePerCarica
 $= \text{IF}((\text{ContrDispMat} > 0), \text{GtaCalcare} / \text{TprepCarica}, 0)$

- ⇒ CokePerCarica
= IF(ContrDispMat, GtaCoke/TprepCarica,0)
- ⇒ ColContLav
= IF(AcciaioLav>0,AcciaioLav/TempRaf,0)
- ⇒ CostoDip
= (Dipendenti*StipendioMedioDip)/(30*TimeStepGiornaliero)
- ⇒ CostoMag
= TotPezziInvenduti*CostoMagMqTm
- ⇒ Fusione
= IF(Carica>=CaricaProd3h, CaricaProd3h/TempoFusione,0)
- ⇒ GhPerRiduzione
= IF((Rottame>=(ConvAttivi*CapConvUtilizzata)*(1-PerGhisa)
AND (GhisaDiPrFus>=(ConvAttivi*CapConvUtilizzata)*PerGhisa)),((ConvAttivi*CapConvUtilizzata)*PerGhisa/TempoDir) ,0)
- ⇒ LamCaldoLav
= IF(BrammeLav>0, (BrammeLav*(1-PerLamLav))/TLamCaldo, 0)
- ⇒ LamFreddoLav
= IF(ProdLamCaldoLav>0,ProdLamCaldoLav*(1-PerLamFreddoLav),0)
- ⇒ LamiereLavPerVen
= IF(LamiereLav>0,LamiereLav*(1-PercLamiereLav),0)
- ⇒ LamLamiereLav
= IF(BrammeLav>0, (BrammeLav*PerLamLav)/TLamLamiere, 0)
- ⇒ LamPerLavTubiLav
= IF(LamiereLav>0,LamiereLav*PercLamiereLav,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)
- ⇒ LicDip
= IF(Dipendenti>DipDesiderati,(Dipendenti-DipDesiderati)/TempoAssLic, 0)
- ⇒ MatPrime
= AcqMatPrime
- ⇒ MineralePerCarica
= IF(ContrDispMat=1, GtaMinerale/TprepCarica,0)
- ⇒ NastriLavPerVen
= IF(NastriLav>0,NastriLav*(1-PercNastriLav),0)
- ⇒ NastriPerLavTubiLav
= IF(NastriLav>0,NastriLav*PercNastriLav,0)
- ⇒ Pezzilnv
= PezziProdotti-PezziVenduti
- ⇒ PezziProdotti
= LamiereLavPerVen+LamPerLavTubiLav+LavLamDaTaglioLav
+NastriLavPerVen+NastriPerLavTubiLav+TempoRivLamCaldoLav

- ☐⇒ PezziVenduti
= VenditaLDTL+VenditaLLF+VenditaNLF+VenditaSemiLavorati+VenditaTL
- ☐⇒ ProduzioneAcciaio
= RotPerRiduzione+GhPerRiduzione
- ☐⇒ ProduzioneGhisaEff
= Fusione-scorie
- ☐⇒ Ric
= Ricavo
- ☐⇒ Ricavo
= RicaviLDTL+RicaviLLF+RicaviNLF+RicaviTL+RicaviSemiLavorati
- ☐⇒ RimAltoforno
= IF(Altoforni>1 AND ProdAltDivProdConv<0.5, 1, 0)
- ☐⇒ RotPerRiduzione
= IF((Rottame>=(ConvAttivi*CapConvUtilizzata)*(1-PerGhisa))
AND (GhisaDiPrFus>=ConvAttivi*CapConvUtilizzata*PerGhisa),((ConvAttivi*CapConvUtilizzata)*(1-PerGhisa)/TempoDir),0)
- ☐⇒ scorie
= Fusione*PerLoppa
- ☐⇒ Spese
= CostoDip+CostoMag+AcqMatPrime+PagRataImpianti
- ☐⇒ 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)
- AcqMatPrime
= (AcqCal*CoCalcarePerTon)+(CoCokePerTon*AcqCoke)+(AcqMin*CoMinPerTon)+(AcqRottame*CoRottamePerTon)
- AltoforniAttivi
= IF(PerProd>=0.6,NAltoforni,0)
- CapConvSiv
= 45*RateProdSiv
- CapConvUtilizzata
= RateProdConvertitore*CapConvertitore

- CaricaNecessaria
= (GtaCalcarea+GtaCoke+GtaMinerale)*2
- CaricaProd3h
= (GtaCalcarea+GtaMinerale+GtaCoke)*RateProdAlfoforno
- CoCokePerTon
= GRAPH(Mese,0,1,[231,258,261,264,265,265,295,329,352,331,312,281,198,204,203,169,154,147,141,138,141,148,154,178,175,181,188,262,269,283,303,299,303,284,279,276,299"Min:0;Max:500"])
- CoMinPerTon
= GRAPH(Mese,0,1,[46,2,46,2,46,2,46,2,46,2,46,2,46,2,46,2,46,2,46,2,53,2,55,1,57,4,48,7,45,4,47,6,54,4,63,8,74,2,61,3,66,75,49,80,95,7,97,106,3,131,122,7,109,2,96,110,5,106,9,112,9,122,1,128,18,136,6"Min:0;Max:200"])
- ContrDispMat
= IF(Calcarea>=GtaCalcarea/TprepCarica AND Coke>=GtaCoke/TprepCarica AND Minerale>=GtaMinerale/TprepCarica, 1, 0)
- ConvAttivi
= IF(PerProd>0.9, NumConv, IF(PerProd<=0.9 AND PerProd>=0.6, INT(NumConv-(NumConv/2)), 0))
- CoRottamePerTon
= GRAPH(Mese,0,1,[261,268,276,352,433,441,429,364,259,201,154,209,208,177,151,166,183,158,175,190,202,177,172,195,218,220,255,320,292,260,249,276,286,251,274,308,358"Min:0;Max:500"])
- CostoProdGhisa
= (CoCalcareaPerTon*0.45)+(CoCokePerTon*0.9)+(CoMinPerTon*1.8)
- CurvaDiMercato
= GRAPH(Mese,0,1,[0.867,0.872,0.904,0.906,0.901,0.908,0.857,0.822,0.807,0.715,0.646,0.581,0.612,0.663,0.645,0.64,0.658,0.717,0.714,0.737,0.766,0.769,0.747,0.715,0.758,0.794,0.806,0.828,0.823,0.803,0.748,0.74,0.758,0.766,0.78,0.736,0.817"Min:0;Max:2"])
- DipDesiderati
= INT(ProdDesGhisa/DesProdGiorGhisaDip)
- Mese
= INT(Tempo/UnitàMensile)
- NumConvSiv
= NumConv*2
- NumConvSivAttivi
= IF(PerProd>0.9, NumConvSiv, IF(PerProd<=0.9 AND PerProd>=0.6, INT(NumConvSiv-(NumConvSiv/2)), 0))
- PagRataImpianti
= Ammortamento+(Ammortamento*0.05)
- PerGhisa
= RateProdGhisa
- PerProd
= MIN(Dipendenti/DipDesiderati,1)
- ProdAccGiorn
= AcciaioProdotto/IF(Tempo>0,(Tempo/TimeStepGlornaliero),1)
- ProdAttDivProdConv
= MAX(MIN((CapConvUtilizzata*ConvAttivi*10)/GhisaDiPrFus,2),0,1)
- ProdDesAcc
= ((NumConv*CapConvertitore)/TempoDir)*TimeStepGlornaliero

- ProdDesGhisa
= CapGiornAltoforno*NAtoforni
- ProdRate
= ProdAccGiorn/ProdDesAcc
- ProduzioneMassimaMensile
= ((CapConvertitore*NumConv)/TempoDir)*UnitàMensile
- QtaCalcare
= 0.45*(CapGiornAltoforno/8)*AltoforniAttivi
- QtaCoke
= 0.9*(CapGiornAltoforno/8)*AltoforniAttivi
- QtaMinerale
= 1.8*(CapGiornAltoforno/8)*AltoforniAttivi
- QuanRottame
= 2*(ConvAttivi*CapConvUtilizzata)*(1-PerGhisa)
- RateProdAlfoforno
= MAX(MIN((CapConvUtilizzata*ConvAttivi*10)/GhisaDiPrFus,1),0.8)
- RateProdConvertitore
= MIN((NumConvSivAttivi*CapConvSiv*10)/Acciaio,1)
- RateProdGhisa
= IF((CoRottamePerTon*0.2)+(CostoProdGhisa*0.8)>(CoRottamePerTon*0.3)+(CostoProdGhisa*0.7)
AND RateProdAlfoforno>0.8 0.7 0.8)
- RateProdSiv
= MIN((TotPezziProdotti*MagRate)/TotPezziInvenduti,1)
- RicaviLDTL
= VenditaLDTL*PrezzoLDTL
- RicaviLLF
= VenditaLLF*PrezzoLLF
- RicaviNLF
= VenditaNLF*PrezzoNLF
- RicaviSemiLavorati
= VenditaSemiLavorati*PrezzoSemiLavorati
- RicaviTL
= VenditaTL*PrezzoTL
- Tempo
= TIME
- TempoAssLic
= GiorniNecAss*TimeStepGiornaliero
- TLamCaldo
= IF(PerProd<=0.5, 2500000000000000000, 3/PerProd)
- TLamLamiere
= IF(PerProd<=0.5, 2500000000000000000, 1/PerProd)
- TotImpianti
= (ValoreAltoforno*NAtoforni)+(ValoreConvertitori*(NumConv+NumConvSiv))

- TprepCarica
= IF(PerProd<=0.6, 250000000000000000, 12/PerProd)
- VenditeTimestep
= ((CurvaDiMercato*ProduzioneMassimaMensile)/UnitàMensile)
- ◇ CapConvertitore
= 60
- ◇ CapGiornAltoforno
= 6900
- ◇ CoCalcarePerTon
= 15
- ◇ CostoMagMqTm
= 0.0013
- ◇ DesProdGiorGhisaDip
= 0.59
- ◇ GiorniNec.Ass
= 30
- ◇ MagRate
= 0.05
- ◇ NAltoforni
= 2
- ◇ NumAssunzioniGiorn
= 300
- ◇ NumConv
= 7
- ◇ PerLamieraLav
= 0.2
- ◇ PercNastriLav
= 0.2
- ◇ PerLamFreddoLav
= 0.4
- ◇ PerLamLav
= 0.3
- ◇ PerLoppa
= 0.7
- ◇ PerVenditaSemilavorati
= 0.18
- ◇ PerVenditeLDTL
= 0.13
- ◇ PerVenditeLLF
= 0.45
- ◇ PerVenditeNLF
= 0.1

- ◇ PerVenditeTL
= 0.14
- ◇ PrezzoLDTL
= 800
- ◇ PrezzoLLF
= 600
- ◇ PrezzoNLF
= 800
- ◇ PrezzoSemiLavorati
= 600
- ◇ PrezzoTL
= 1600
- ◇ StipendioMedioDip
= 1500
- ◇ TConvSiv
= 3
- ◇ TempoDir
= 2
- ◇ TempoFusione
= 12
- ◇ TempRaf
= 2
- ◇ TimeStepGlornaliero
= 96
- ◇ UnitàMensile
= 2880
- ◇ ValoreAltoforno
= 10000000
- ◇ ValoreConvertitori
= 500000

Elenco delle figure

1.1	Variabili di livello e flusso	6
1.2	Esempio campagna marketing IBM	9
1.3	Processi fisiologici	10
1.4	Funzione decisione	11
2.1	Evoluzione della produzione di acciaio	14
2.2	Altoforno schematizzato	17
2.3	Forno AOD fase di spillaggio	19
2.4	Colata continua	21
2.5	Laminazione a caldo	24
2.6	Produzioni Mondiali di acciaio 2002	27
2.7	Dati produzione mondiale 2003	28
2.8	Dati sulla produzione di acciaio 2011	29
3.1	Carica Altoforno	32
3.2	Descrizione della variabile «PerProd»	33
3.3	Fusione	34
3.4	Processo produttivo acciaio	35
3.5	Siviera e processo di colata continua	36
3.6	Laminazione a caldo e a freddo	37
3.7	Curva di mercato, lamiera e tubi	38
3.8	Lamiera Lavorate e Nastri	39
3.9	Semilavorati	40
3.10	Produzione acciaio giornaliera	41
3.11	Reddito operativo	42
3.12	Curva di Mercato vendite	43
3.13	Produzione	44
3.14	Grafico Pezzi prodotti venduti	45
3.15	Guadagni uscite	46
3.16	Grafico guadagni uscite	46
3.17	Reddito operativo	47

3.18	Grafico reddito operativo	47
4.1	Grado di utilizzazione degli impianti	49
4.2	Reddito Operativo S1	50
4.3	Grafico reddito operativo S1	51
4.4	Reddito operativo S2	52
4.5	Grafico reddito operativo S2	52
4.6	Ricavi e uscite S1	53
4.7	Grafico ricavi e uscite S1	53
4.8	Ricavi e uscite S2	54
4.9	Grafico ricavi e uscite S2	54
4.10	Pezzi prodotti, venduti, invenduti S1	55
4.11	Grafico pezzi prodotti, venduti, invenduti S1	55
4.12	Pezzi prodotti, venduti, invenduti S2	56
4.13	Grafico pezzi prodotti, venduti, invenduti S2	56
4.14	Grado di utilizzo altoforno e convertitore S1	57
4.15	Grado di utilizzo altoforno e convertitore S2	58
4.16	Stock degli altoforni	59
4.17	Grado di utilizzo degli altoforni e convertitori	60
4.18	Andamento del costo del coke anni 2008 2009 2010	61
4.19	Andamento del costo del rottame anni 2008 2009 2010	61
4.20	Andamento del costo del minerale di ferro anni 2008 2009 2010	62
4.21	Reddito Operativo S3	64
4.22	Grafico reddito operativo S3	64
4.23	Reddito operativo S4	65
4.24	Grafico reddito operativo S4	65
4.25	Ricavi e uscite S3	66
4.26	Grafico ricavi e uscite S3	66
4.27	Ricavi e uscite S4	67
4.28	Grafico ricavi e uscite S4	67
4.29	Pezzi prodotti, venduti, invenduti S3	68
4.30	Grafico pezzi prodotti, venduti, invenduti S3	68
4.31	Pezzi prodotti, venduti, invenduti S4	69
4.32	Grafico pezzi prodotti, venduti, invenduti S4	69
4.33	Curva di mercato simulazione 5 e 6	70
4.34	Reddito Operativo S5	72
4.35	Grafico reddito operativo S5	72
4.36	Reddito operativo S6	73
4.37	Grafico reddito operativo S6	73
4.38	Ricavi e uscite S5	74
4.39	Grafico ricavi e uscite S5	74

4.40	Ricavi e uscite S6	75
4.41	Grafico ricavi e uscite S6	75
4.42	Pezzi prodotti, venduti, invenduti S5	76
4.43	Grafico pezzi prodotti, venduti, invenduti S5	76
4.44	Pezzi prodotti, venduti, invenduti S6	77
4.45	Grafico pezzi prodotti, venduti, invenduti S6	77
4.46	Andamento della percentuale di ghisa S5	78
4.47	Andamento della percentuale di ghisa S6	78
5.1	Reddito Operativo S7	80
5.2	Grafico reddito operativo S7	80
5.3	Reddito operativo S8	81
5.4	Grafico reddito operativo S8	81
5.5	Ricavi e uscite S7	82
5.6	Grafico ricavi e uscite S7	82
5.7	Ricavi e uscite S8	83
5.8	Grafico ricavi e uscite S8	83
5.9	Pezzi prodotti, venduti, invenduti S7	84
5.10	Grafico pezzi prodotti, venduti, invenduti S7	84
5.11	Pezzi prodotti, venduti, invenduti S8	85
5.12	Grafico pezzi prodotti, venduti, invenduti S8	85
5.13	Grado di utilizzo altoforno e convertitore S7	86

Elenco delle tabelle

3.1	Confronto dati Simulazione TATA Steel	43
4.1	Dati relativi alle simulazioni S1, S2	50
4.2	Dati relativi alle simulazioni S3, S4	63
4.3	Dati relativi alle simulazioni S5, S6	71
5.1	Dati relativi alle simulazioni S7, S8	79

Bibliografia

- [1] [J. Newton Friend Man and the chemical elements II ed. C. Grin & C. Ltd, London 1951]
- [2] [Claudio Giardino I metalli nel mondo antico II ed. Laterza 1999]
- [3] [J. Edward Vickers A popular history of Sheeld Applebaum 1992]
- [4] [Margherita Balboni Storia della siderurgia Italiana 1990]
- [5] [Edoardo Mollona Strategia complessità risorse 2008]
- [6] [Ruggialdi <http://digilander.libero.it/ruggialdi/chim/chimi16.html>]
- [7] [<http://www.worldsteel.org/>]
- [8] [Stefano Maggiolo, Gino Vestri, Stefania Balzamo, Marco Russo Iron and steel Industry waste 2007]
- [9] [wikipedia www.wikipedia.it 2012]
- [10] [APAT Rapporto sull'ambiente 2004]
- [11] [Tata Steel report annuale 2010/2011 2012]
- [12] [Enciclopedia on line Treccani www.Treccani.it 2012]
- [13] [Software Powersim construction model 2010]
- [14] [Report acciaierie 2003]

- [15] [Carlo Talamonti La filiera produttiva dell'Acciaio: "Dal minerale all'acciaio liquido" 2005]
- [16] [<http://science.howstuffworks.com/iron3.htm> Marshall Brain and Robert Lamb]
- [17] [<http://www.eurofer.org/index.php/eng/Facts-Figures/Figures/Scrap-price-index>]
- [18] [<http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=iron-ore&months=60>]
- [19] [<http://www.steelonthenet.com/files/blast-furnace-coke.html>]
- [20] [http://www.lamieranews.it/it/economia/prezzi_semilavorati.html]

Ringraziamenti

Per prima cosa vorrei ringraziare per la sua immensa disponibilità il prof. Edoardo Mollona, colgo inoltre l'occasione per ringraziare tutti i professori del corso di Laurea Magistrale in Scienze di internet. Ringrazio poi, Ciccìa e Il re del portico Dimo, il miglior duo di amici senza i quali sarebbe impossibile «impezzare» le tipe e ubriacarsi in giro. Ancora vorrei ringraziare Ciccìa per avermi messo a letto quando ero in condizioni impresentabili, permettendomi poi di fare l'ultimo esame, superato con 30, il lunedì successivo e Dimo la comara per i suoi pettegolezzi e lo sparlare di tutti su facebook. Ringrazio Corrado Vignetti per il bellissimo capodanno passato insieme, con patatine bibite e musica a volontà....ma senza esagerare. Ringrazio Elena Vitali per voi sapete cosa!!!!. Ringrazio Sirli e Fabietto, sia per avermi sostenuto nei momenti brutti, ma soprattutto per avermi fatto conoscere le «bellezze» dell'Estonia. Ringrazio Il presidentissimo del club "degli eletti" estimatori della razza superiore di carne estone Simone Chiaromonte. Ringrazio Camillo Carlini per aver condiviso con me questi 2 anni di magistrale. Ringrazio poi il maestro Matteino, spatolatore folle, per i suoi insegnamenti sulle donne. Ringrazio la mia «Opetaja» di estone Kaire Edenberg senza la quale il mio estone non sarebbe migliorato visibilmente in questi pochi mesi di studio, sa meeldid mulle vaga. Ringrazio mia sorella Mariateresa per i taglieri di formaggi e di affettati oltre che per gli innumerevoli bicchieri di vino, birra e superalcolici bevuti insieme. Ringrazio inoltre l'esistenza dell'area Schengen, e di tutte le straniere in genere GRAZIE DI ESISTERE. Ringrazio tutti quelli che, anche se non nominati esplicitamente, durante questi 6 anni a Bologna mi sono stati vicino. Infine vorrei ringraziare me stesso per aver portato a termine gli studi in tempo, alla faccia di chi non credeva in me, questa laurea è tutta per voi.....e adesso trovatemi un lavoro!!!! P.s. vorrei poi concludere con una «massima», un'auspicio per voi tutti, che mi ha accompagnato in questo ultimo anno (permettetemi l'espressione dialettale) «chiusa na porta sa rrape nu garage!!!!»