

POLITECNICO DI MILANO

IV Facoltà di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica



Riprogettazione del processo
di affinamento dell'acciaieria

 **Tenaris**Dalmine

Relatore

Prof. Marco Taisch

Tesi di Laurea di
Luca Ugo Galimberti
Matricola 639938

Anno Accademico 2008 – 2009

... a te e al vuoto che hai lasciato!

Ho avuto paura quella sera
quando si è spenta nei tuoi occhi
l'ultima scintilla di vita.
Anche nei miei in quell'ora
è scesa la notte
e non sapevo se notte per sempre.
Ho sentito di dentro una voce:
"La luce vive al di là della notte".
Ho sentito la tua mano stringere forte la mia
e ho continuato a camminare con te.
Ora sei dentro di me,
sei la luce che rischiara la mia strada
e resuscita la speranza del mio domani.
I miei occhi cercano d'intravedere l'altra sponda
la conosco impregnata di luce
che non conosce tramonti:
lì io ti raggiungerò.

Pinuccia Sabrina Luca



INDICE GENERALE

INTRODUZIONE

I.1 Argomento trattato	V
I.2 Obiettivi	V
I.3 Contributo innovativo	VI
I.4 Struttura tesi	VI

CAPITOLO 1

TENARIS DALMINE

1.1 Cento anni di storia	2
1.2 Produzione dell'acciaieria Dalmine	7
1.3 Piano di investimenti	15
1.4 Un mercato in continua espansione	16

CAPITOLO 2

PRODUZIONE ATTUALE

2.1 Diagramma semplificato	18
2.2 Fusione	19
2.3 Metallurgia secondaria	21
2.4 Colata continua	23
2.5 Vincoli di produzione	28
2.6 Svincolare la produzione	30

CAPITOLO 3

IPOSTESI DI MODIFICA

3.1	Flussi allo studio	34
3.2	Ipotesi 1 – HP1	36
3.2.1	Capacità attesa da HP1	37
3.3	Ipotesi 2 – HP2	38
3.3.1	Capacità attesa da HP2	39

CAPITOLO 4

MODELLAZIONE

4.1	Raccolta input	41
4.2	Analisi statistica input	45
4.3	Flusso tecnologico di produzione	63
4.5	Modellazione in Arena	67
4.5.1	Stato di fatto	72
4.5.2	HP1	76
4.5.3	HP2	80
4.6	Verifica modelli	86

CAPITOLO 5

SIMULAZIONE IN ARENA

5.1	Definizione scenari e condizioni	91
5.1.1	Scenario 1	92
5.1.2	Scenario 2	92
5.1.3	Indicatori di performance	93
5.2	Robustezza statistica simulazioni	94
5.2.1	Analisi statistica “Stato di fatto”	95

5.2.2	Analisi statistica HP1	105
5.2.2.1	Scenario 1	105
5.2.2.2	Scenario 2	110
5.2.3	Analisi statistica HP2	115
5.2.3.1	Scenario 1	115
5.2.3.2	Scenario 2	120
5.3	Risultati simulazioni	125
5.4	Analisi qualitativa output	126
5.4.1	Scenario 1	126
5.4.2	Scenario 2	131
5.5	Scelta ipotesi investimento	134

CAPITOLO 6

VALUTAZIONE INVESTIMENTO

6.1	Analisi costi/benefici	137
6.2	Analisi economica	139
6.3	Considerazioni investimento	142

CAPITOLO 7

CONSIDERAZIONI FINALI

7.1	Scenari ipotetici futuri	147
7.2	Conclusioni	149

APPENDICE

SIMULAZIONE IN ARENA

A.1	What's Being Modeled?	152
A.2	Physical Models	154

A.3	Logical (or Mathematical) Models	155
A.4	Different Kinds of Simulations	155
A.5	How Simulations Get Done	157
A.5.1	General-Purpose Languages	157
A.5.2	Simulation Languages	158
A.5.3	High-Level Simulators	158
A.5.4	Where Arena Fits In	158
A.6	When Simulations Are Used	160
A.6.1	The Early Years	161
A.6.2	The Formative Years	161
A.6.3	The Recent Past	162
A.6.4	The Present	163
A.6.5	The Future	164
A.7	Pieces of a Simulation Model	165
A.7.1	Entities	165
A.7.2	Attributes	166
A.7.3	(Global) Variables	167
A.7.4	Resources	168
A.7.5	Queues	169
A.7.6	Statistical Accumulators	169
A.7.7	Events	169
A.7.8	Simulation Clock	171
A.7.9	Starting and Stopping	171
	<i>BIBLIOGRAFIA</i>	173
	<i>RINGRAZIAMENTI</i>	175

INTRODUZIONE

I.1 Argomento trattato

Questa tesi nasce in seguito a uno stage svolto presso TenarisDalmine, nel settore di pianificazione industriale, nel periodo tra marzo e dicembre 2008.

L'elaborato ruota attorno ai seguenti punti:

- ❑ studio del flusso di produzione della acciaieria in termini di tempistiche delle principali fasi della lavorazione (Forno - LF/VD - CCo)
- ❑ individuazione di vincoli (infrastrutturali, di prodotto e di processo) che limitano la flessibilità della produzione
- ❑ identificazione di alcuni macro interventi che potrebbero aumentare flessibilità e capacità produttiva
- ❑ modellazione del flusso produttivo tramite il software di simulazione ARENA
- ❑ analisi dei risultati delle simulazioni al fine di valutare l'impatto delle modifiche sulla capacità produttiva
- ❑ valutazione dell'investimento tramite PBP, NPV e analisi di sensitività

I.2 Obiettivi

Scopo di questo studio è l'aumento di flessibilità del processo di affinamento dell'acciaio, in particolare del trattamento di vuoto e di aggiunta ferroleghhe.

Risultati sperati sono un incremento della capacità produttiva da utilizzare in ottica futura per far fronte alla crescente domanda di acciai speciali e, in generale, di una più semplice gestione del trattamento fuori forno.

I.3 Contributo innovativo

Per la prima volta in Tenaris, si è tentato di risolvere la questione della scarsa flessibilità del trattamento secondario tramite simulazione dinamica, nello specifico tramite ARENA. Questo, a differenza che in passato, ha portato a risultati ben definiti e solidi, tali da essere portati in consiglio di amministrazione per mettere al vaglio l'investimento.

La simulazione si è dimostrata un valido strumento nella pianificazione industriale al punto che, in fase di conclusione del presente progetto, **TenarisDalmine** si è apprestata a intraprenderne un altro coinvolgendo i laminatoi.

I.4 Struttura tesi

CAPITOLO I – TENARIS DALMINE

In questo capitolo si descrivono brevemente la storia di TenarisDalmine, la sua produzione, il piano d'investimenti di breve periodo e la posizione di mercato che l'azienda occupa.

CAPITOLO II – PRODUZIONE ATTUALE

Descrizione delle fasi che compongono il processo di produzione di barre d'acciaio. Individuazione dei vincoli di processo e ipotesi per la loro soluzione.

CAPITOLO III – IPOTESI DI MODIFICA

Definizione di due ipotesi di modifica rispetto al flusso attuale di produzione. Nota tecnica delle modifiche da apportare all'impianto e descrizione dei riflessi sui vincoli di processo emersi nel capitolo precedente.

CAPITOLO IV – MODELLAZIONE

In questo capitolo è esposto l'iter di realizzazione e di verifica dei modelli:

- raccolta degli input necessari e loro riconduzione a una curva statistica
- studio del flusso tecnologico del processo dell'acciaieria
- strutturazione dei modelli di simulazione, blocchi in comune e peculiarità dei tre sistemi realizzati
- verifica di coerenza e corretto funzionamento

CAPITOLO V – SIMULAZIONE IN ARENA

Scelta degli strumenti attraverso cui misurare le performance dei diversi flussi di produzione.

Definizione degli scenari di confronto e delle condizioni operative.

Verifica della robustezza dei modelli attraverso analisi statistica dei risultati.

Considerazioni qualitative riguardo i risultati delle simulazioni al fine di effettuare la scelta del flusso di produzione più conveniente.

CAPITOLO VI – VALUTAZIONE INVESTIMENTO

In questo capitolo si è verificata la convenienza economica dell'investimento.

Considerando la capacità produttiva extra che il nuovo flusso di produzione garantirebbe, si sono impostati PBP e NPV con criterio differenziale tra produzione e acquisto.

A completamento della valutazione d'investimento è stata effettuata un'analisi di sensitività, che ha ulteriormente sottolineato la bontà di quest'ultimo, sottolineando quanto il tasso di attualizzazione scelto da Tenaris sia un valido strumento di sicurezza.

CAPITOLO VII – CONSIDERAZIONI FINALI

Breve parentesi conclusiva in cui sono esposte la situazione attuale e le prospettive future di Tenaris, rispetto alla crisi che ha investito i settori produttivi.

Riflessione personale sull'importanza e la validità della simulazione nella pianificazione industriale.

CAPITOLO 1

TENARIS DALMINE



1.1 Cento anni di storia

1885

In Germania, i fratelli Max e Reinhard Mannesmann, produttori di utensili in acciaio, progettano e brevettano con il loro nome un laminatoio a cilindri per la produzione di tubi in acciaio senza saldatura, che si afferma nel mondo come laminatoio a passo di pellegrino.



Figura 1 - Max e Reinhard Mannesmann

In pochi anni, la società costituita dai Mannesmann realizza stabilimenti non soltanto in Germania, ma anche in Gran Bretagna, in Francia e in Italia.

27 giugno 1906



Figura 2 - 31 marzo 1907: la posa della prima pietra dello stabilimento a Dalmine

Viene costituita a Milano la Società Anonima Tubi Mannesmann, che due anni dopo, nell'ambito dei numerosi investimenti tedeschi in Italia, avvia nella località di Dalmine, alle porte di Bergamo, la costruzione di uno stabilimento destinato alla laminazione dei tubi senza saldatura.

1915

Con l'entrata in guerra dell'Italia, la Banca Commerciale Italiana rileva le quote della società tedesca. Il paese di Dalmine cresce attorno alla fabbrica, dando vita a uno dei più significativi esempi di relazione tra una grande industria e la comunità locale, tanto che nel 1920

l'azienda assume la nuova denominazione di Stabilimenti di Dalmine.

1924

La società viene quotata in borsa.

1937

Il pacchetto azionario passa alla Finsider. Specializzata nella fabbricazione di tubi senza saldatura, la Dalmine si afferma nella seconda metà degli anni Trenta come una delle imprese leader nel campo della siderurgia.

Luglio 1944

Un bombardamento provoca nello stabilimento della Dalmine gravissimi danni e un tragico bilancio: più di 270 morti e oltre 800 feriti. Il ripristino degli impianti distrutti e la ripresa delle attività produttive sono l'obiettivo prioritario del dopoguerra. Assunta la nuova denominazione di Dalmine S.p.A., l'azienda avvia una serie di acquisizioni.



Figura 3 - La facciata dello stabilimento dopo il bombardamento del 6 luglio 1944

1948

Viene incorporato lo stabilimento di Massa Carrara (già Apuania), la cui produzione era destinata a tubi per petrolio.

1954

Entra in funzione l'impianto di Torre Annunziata (Napoli) per la produzione di tubi saldati per gas.

1956

A Sabbio Bergamasco si avvia la produzione di bombole.

1957

Viene costruito lo stabilimento di Costa Volpino per la produzione di tubi trafilati a freddo; alla fine degli anni Sessanta la società assume la gestione dello stabilimento di Piombino, che produce tubi saldati con metodo Fretz-Moon. In questi anni la Dalmine occupa più di 17.000 persone.

1976

Viene avviata l'acciaiera elettrica con colata continua.

1978

Viene laminato il primo tubo nel nuovo laminatoio a mandrino trattenuto, che in quel momento è l'impianto più moderno al mondo per la produzione di tubi senza saldatura.

1990-1995

Vengono effettuate altre acquisizioni: lo stabilimento di Arcore, per la produzione di tubi destinati all'industria meccanica; il piccolo stabilimento di Carbonara Scrivia (Alessandria); Tubicar, per la produzione di tubi di precisione; le società di distribuzione TAD, Tubi di Qualità e Siderlandini.

1993

Entrano in produzione il laminatoio Rotary Expander (per tubi di grande diametro) e la seconda linea di colata continua.

27 febbraio 1996

Dalmine entra a far parte del Gruppo Techint.

2002

Viene costituita Tenaris S.A. di cui Dalmine è parte insieme a Siderca (Argentina), Tamsa (Messico), NKK Tubes (Giappone), Algoma Tubes (Canada), Tavsa (Venezuela), Confab (Brasile) e Siat (Argentina).

17 dicembre 2002

Tenaris viene quotata alle Borse di New York, Milano, Città del Messico e Buenos Aires.

17 luglio 2003

Il titolo Dalmine esce dalla borsa di Milano.

2004

Tenaris acquisisce il controllo di Silcotub, una fabbrica romena per la produzione di tubi petroliferi senza saldatura.

2006

Tenaris instaura la sua presenza negli USA attraverso l'acquisizione di Maverick Tube Corp.

Contemporaneamente espande la propria presenza in Canada con lo stabilimento di Prudential e si affaccia sul mercato colombiano attraverso la fabbrica TuboCaribe.

2007

Grazie a Hydril, Tenaris accresce la propria gamma di prodotti e servizi per l'industria petrolifera e dei gas.

1.2 Produzione dell'acciaieria Dalmine

L'acciaieria di Tenaris Dalmine produce barre d'acciaio per alimentare due laminatoi, anch'essi presenti nello stabilimento di Dalmine, adibiti alla produzione di tubi senza saldature. Settimanalmente "la fabbrica" riceve dalla supply chain un programma di fabbricazione, funzione delle esigenze dei clienti "interni" (laminatoi) e, naturalmente, di quelli finali che acquistano i tubi.

Programma di fabbricazione

Dalmine Spa * SVOSNEW# * LANCIO OPERATIVO ACC / CCO DATA : 16/10/07 Ora 15.40
 Dati forniti : Periodo 7 10 0 Calibro 426 Num. programma 037

Ordin	Acc.	Lunghezza	Num	Pes	Pes	Elementi fuori
Tpo barra 1 Lato barra 395						
10 81235 7430 1233431 002 EXP TENARIS GL 7,0 3750 7500 4 29						
20 80791 7430 1252649 001 EXP TENARIS GL 7,0 3750 7500 6 53						
80791 7430						2 14
						86
30 80775 7430 1243644 008 FTM COMMERCIAL 831,9 3750 7500 7 51						C.EQ.I=035/039;
80775 7430						"VACUUM DEGASSED-S";
						80
40 80695 6530						"Carica 225
80695 6530						"VACUUM DEGASSING SPINPO *"
						89
50 78646 6970 1051982 007 FTM						"ACC.DEGASSATO SOTTOVUOTO
60 80546 6290 1051989 006 FTM						"ACC. CON TRATTAMENTO ANTIPIOCO";
80546 6290						"VACUUM DEGASSED-S";
						"Carica 225; separaz. prime barre
						81

Geometria barra:

- diametro
- lunghezza

Codice acciaio

Figura 4 - Fac-simile di programma di fabbricazione

I tipi di acciaio prodotti sono circa 350 e classificati in base alla composizione chimica. La classificazione ha lo scopo di standardizzare e definire i tipi di acciai convertendo norme e specifiche dei clienti in codici interni. E' possibile effettuare un'ulteriore distinzione tra acciai che devono o meno subire il trattamento di degassaggio. Quest'ultimo può essere *spinto* (VDS) o

veloce (VDV) rispettivamente se la pressione finale richiesta è minore di X [mmbar] o di X00 [mmbar].

La *Tabella 1* mette in evidenza la possibilità di suddividere le singole classi d'acciaio in famiglie tecnologiche dipendenti dalla composizione chimica e a quest'ultime di dare tempistiche indicative per le lavorazioni di LF e VD.

Codice famiglia	Famiglia tecnologica	Tempo trattamento LF e VD
A1	normali	X0,00
A2	normali VD	X0,00
B1	risolforati	X0,00
B2	risolforati VD	XX0,00
C1	altolegati	X0,00
C2	altolegati VD	XX0,00
D1	alti C	X0,00
D2	alti C VD	X0,00
E1	Ti	X0,00
E2	Ti VD	X00,00
F1	basso P	X0,00
F2	basso P VD	X0,00
B1C1	intersezione	X0,00
B1E1	intersezione	X0,00
B2D2	intersezione	XX0,00
B2E2	intersezione	XX0,00
B2F2	intersezione	XX0,00
B2D2E2	intersezione	XX0,00
C1F1	intersezione	X0,00
C2E2	intersezione	XX0,00
C2F2	intersezione	XX0,00
E2F2	intersezione	X00,00

Tabella 1 - Famiglie tecnologiche e tempistiche indicative

Il processo di acciaieria può essere suddiviso in quattro macro fasi:

1. Carica rottame
2. Fusione in Forno
3. Metallurgia secondaria
4. Colata continua

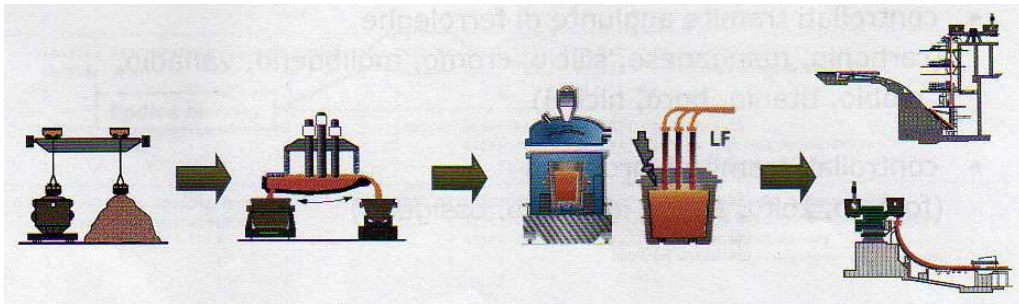


Figura 5 - Macro fasi nella produzione di acciaio

Materia prima, nella produzione dell'acciaio, è in particolare il "rottame" che viene prelevato dal parco rottame, in parte preriscaldato, e poi caricato nel forno ad arco che provvede alla completa fusione dello stesso.



Figura 6 – Parco rottame – metodologia di carica – riscaldamento prefusorio

Di solito si hanno due cariche di rottame, una di X_0 [ton] e una di X_0 [ton]. Raramente, quando nel forno rimane un volume d'acciaio fluido inferiore a X_0 [ton], si provvede al ripristino ricorrendo a una terza carica, pari a circa XX [ton]. La carica del forno viene effettuata tramite gru a ponte pilotata da un operatore.

Fuso il rottame, raggiunta l'energia specifica di XX_0 [kWh/ton] di acciaio liquido (mix di valori target di

temperatura e grado di ossidazione), viene prelevato un provino che viene immediatamente analizzato e, in funzione del risultato, si definiscono i quantitativi di ferroleghie da immettere durante lo spillaggio.

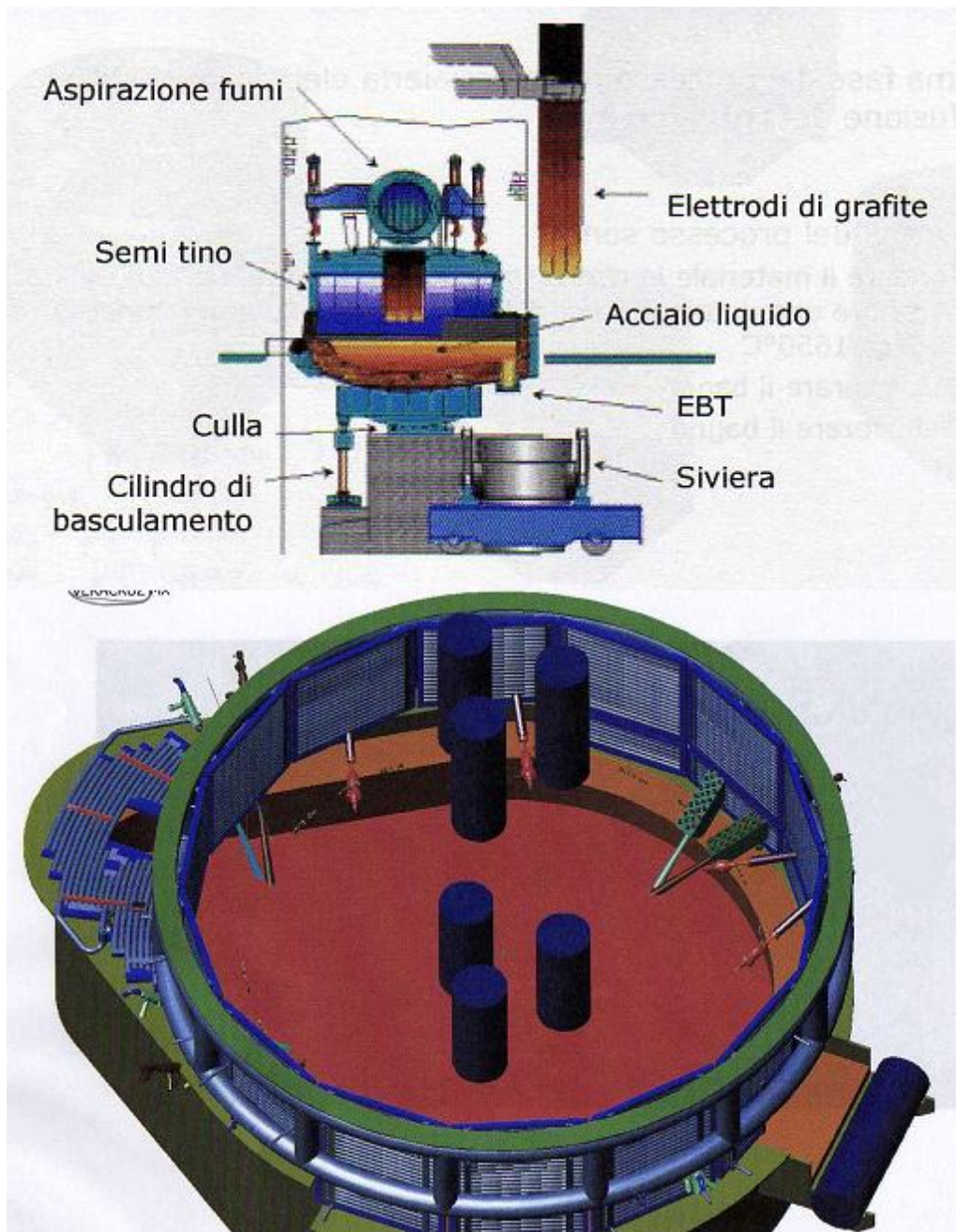


Figura 7 - Schema forno e sua rappresentazione in 3D

L'acciaio viene spillato dal forno basculante tramite la valvola EBT posta nella parte inferiore del forno, in

modo da consentire di non spillare le scorie che rimangono sulla parte superficiale. Al termine della spillata si ottiene un acciaio con un determinato titolo di base che verrà in seguito affinato nei Ladle Furnace per raggiungere le caratteristiche richieste dal tipo di prodotto da realizzare. L'acciaio spillato viene trasportato in uno dei due LF, dove viene trattato per raggiungere le caratteristiche finali, con trattamenti di aggiunta di ferroleghie e, se richiesto, degasaggio.

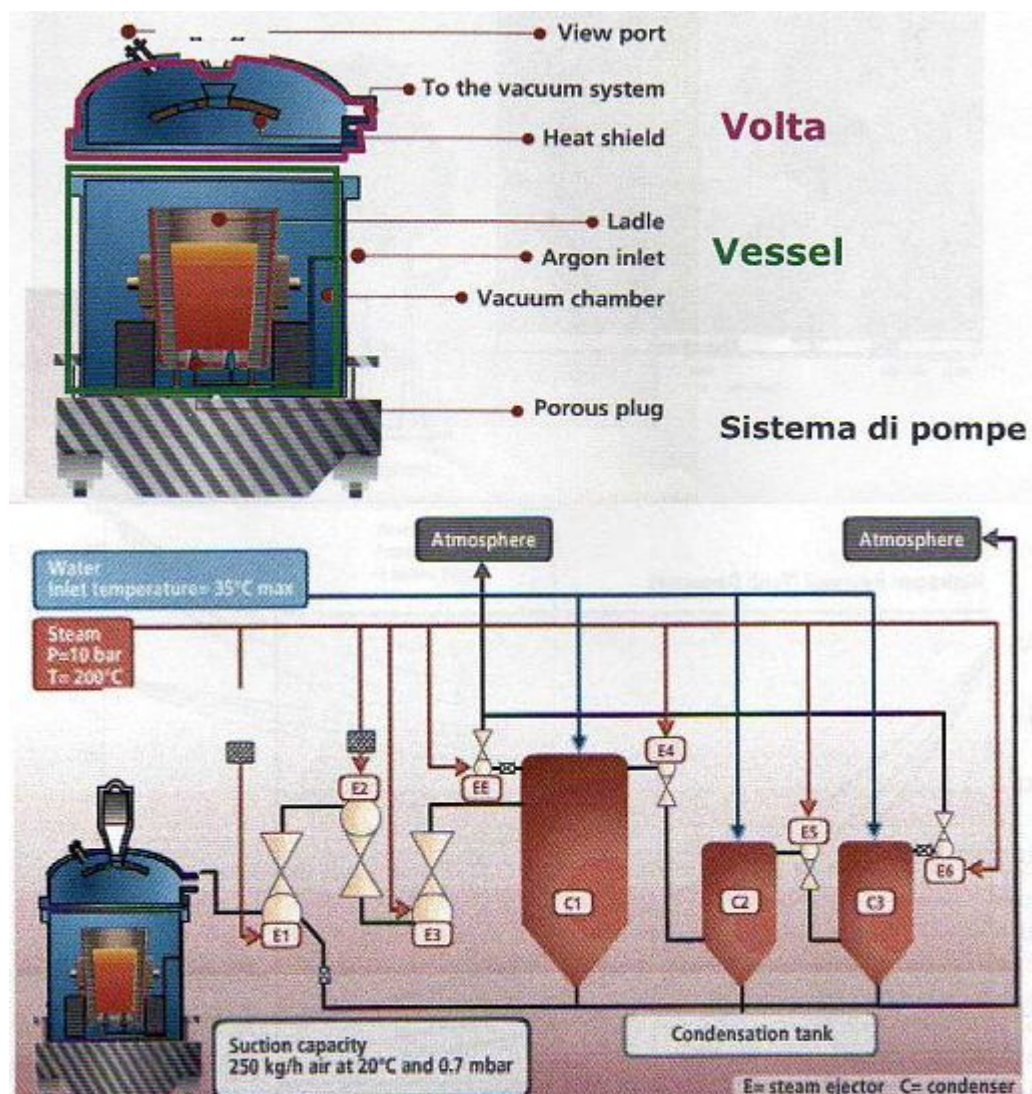


Figura 8 - Schema impianto di pompaggio

La scelta tra i due LF è determinata dal capoturno sulla base della disponibilità delle macchine e del tipo di

acciaio da realizzare. Un acciaio che richiede il trattamento di vuoto dovrà necessariamente subire almeno una parte del processo nella LF1 poiché l'impianto di degasaggio è posto alle spalle di quest'ultima.

Il trattamento degli acciai che non prevedono VD può essere suddiviso in due fasi:

1. Riscaldamento e aggiunta ferroleghie

(l'acciaio viene tenuto in temperatura e fatto gorgogliare mediante insufflazione di argon, si effettuano puntamenti sulla composizione chimica aggiungendo le ferroleghie necessarie alle specifiche di progetto, si esegue la desolforazione)

2. Zona Rossa

(fine mantenimento in temperatura e riduzione apporto di argon, aggiunta di calce e di fili di micro leghe per raggiungere le specifiche richieste)

Diverso il caso per quegli acciai che richiedono trattamento di vuoto. In questo caso possiamo suddividere il processo in tre fasi:

1. Riscaldamento e aggiunta ferroleghie

(l'acciaio viene tenuto in temperatura e fatto gorgogliare mediante insufflazione di argon, si effettuano puntamenti sulla composizione chimica aggiungendo le ferroleghie necessarie alle specifiche di progetto, si esegue la desolforazione)

2. Trattamento di vuoto

(SPINTO o VELOCE secondo specifica)

3. Zona Rossa

(fine mantenimento in temperatura e riduzione apporto di argon, aggiunta di calce e di fili di micro leghe per raggiungere le specifiche richieste; vengono effettuate inoltre analisi del bagno per verificare eventuali modifiche chimiche apportate dal trattamento di vuoto e correzione tramite nuovi puntamenti nel caso di variazioni).

Completata questa delicata fase, l'acciaio è pronto per essere mandato alle macchine di colata continua CCo1 e CCo2 tramite le quali si arriva al prodotto finito di acciaieria, barre d'acciaio pronte per la laminazione.



Figura 9 - Schema CCO1

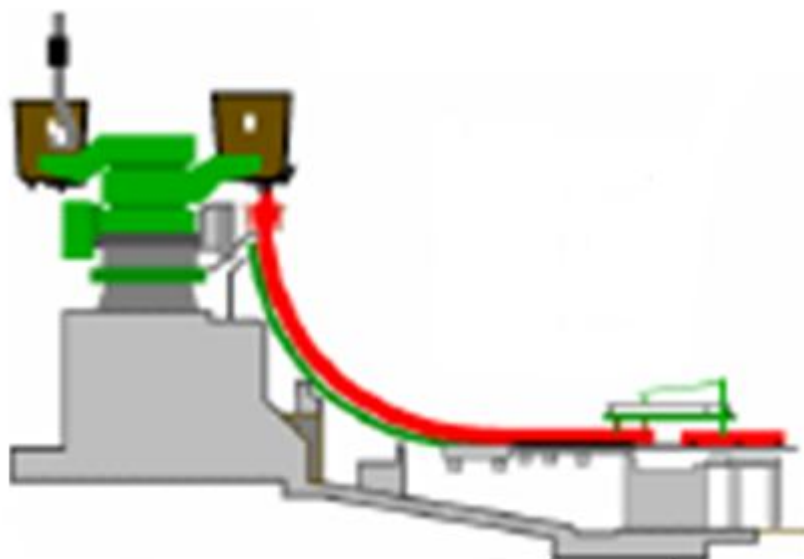


Figura 10 - Schema CCO2

Ultimata la colata, la siviera viene prelevata, svuotata dal residuo di acciaio liquido, per lo più scorie, spostata alla zona ripristino e infine posizionata nei buffer di attesa delle siviere pronte all'uso, nei quali, prima della spillata, viene preriscaldata tramite appositi bruciatori.

1.3 Piano di investimenti

29 settembre 2008: Tenaris annuncia tramite un comunicato stampa l'intenzione di incrementare la sua capacità produttiva attraverso la costruzione di un nuovo laminatoio di tubi di piccolo diametro (fino a 7 pollici), con una capacità produttiva annua di 450.000 tonnellate di tubi senza saldatura, presso il proprio stabilimento di Veracruz in Messico. Il nuovo impianto, che comprenderà unità per la produzione di ferro e acciaio e linee di finitura, comporterà un investimento di circa 1,6 miliardi di dollari e dovrebbe entrare in funzione nel 2011.

Oltre a questo investimento in Messico, Tenaris intende continuare a investire nei propri centri industriali nel mondo e si aspetta che gli investimenti, escluso il nuovo impianto in Messico, ammontino a circa 450 milioni di dollari all'anno nel corso dei prossimi tre anni. In Italia gli interventi più importanti riguarderanno il revamping dei laminatoi dei tubi di medio (FTM) e grosso diametro (Expander) di Dalmine, con l'obiettivo di aumentare le lunghezze fabbricabili dei tubi di elevato spessore e l'ampliamento della capacità di trattamento termico degli impianti. Con questi investimenti Tenaris intende incrementare la propria capacità produttiva per soddisfare le crescenti necessità dei propri clienti di tutto il mondo.

1.4 Un mercato in continua espansione

TenarisDalmine - sede operativa di Tenaris in Italia - è il primo produttore italiano di tubi di acciaio senza saldatura per l'industria energetica, automobilistica e meccanica, con una capacità produttiva annua di 950.000 tonnellate di prodotti finiti, oltre 3.000 dipendenti e 5 stabilimenti in Italia. Tenaris, grazie a una rete globale integrata di unità produttive, laboratori di ricerca e sviluppo e centri di servizio, soddisfa le necessità dei suoi clienti in modo efficiente e con prodotti ad alte prestazioni in ambienti operativi sempre più complessi. Tenaris ha un fatturato annuale di 10 miliardi di dollari e 23.500 dipendenti.

Tenaris offre un'ampia varietà di prodotti e servizi orientata a soddisfare le esigenze dell'industria meccanica, petrolifera, dell'automotive, chimica, petrolchimica e produzione dell'energia.

Con un approccio basato sul Servizio Totale al Cliente, Tenaris fornisce un trattamento personalizzato attraverso i suoi centri servizi, le piattaforme logistiche dislocate nelle principali regioni del Paese e alla rete di distributori autorizzati.

Grazie a questo approccio Tenaris fornisce:

- ❑ assistenza tecnica e sviluppo di prodotti realizzati su specifiche del cliente e/o sviluppati insieme al cliente
- ❑ servizi completi di gestione della logistica
- ❑ fornitura just in time e gestione personalizzata delle scorte
- ❑ fornitura di pacchetti completi di tubi e accessori nel settore petrolchimico ed energetico

CAPITOLO 2
PRODUZIONE ATTUALE

2.1 Diagramma semplificato

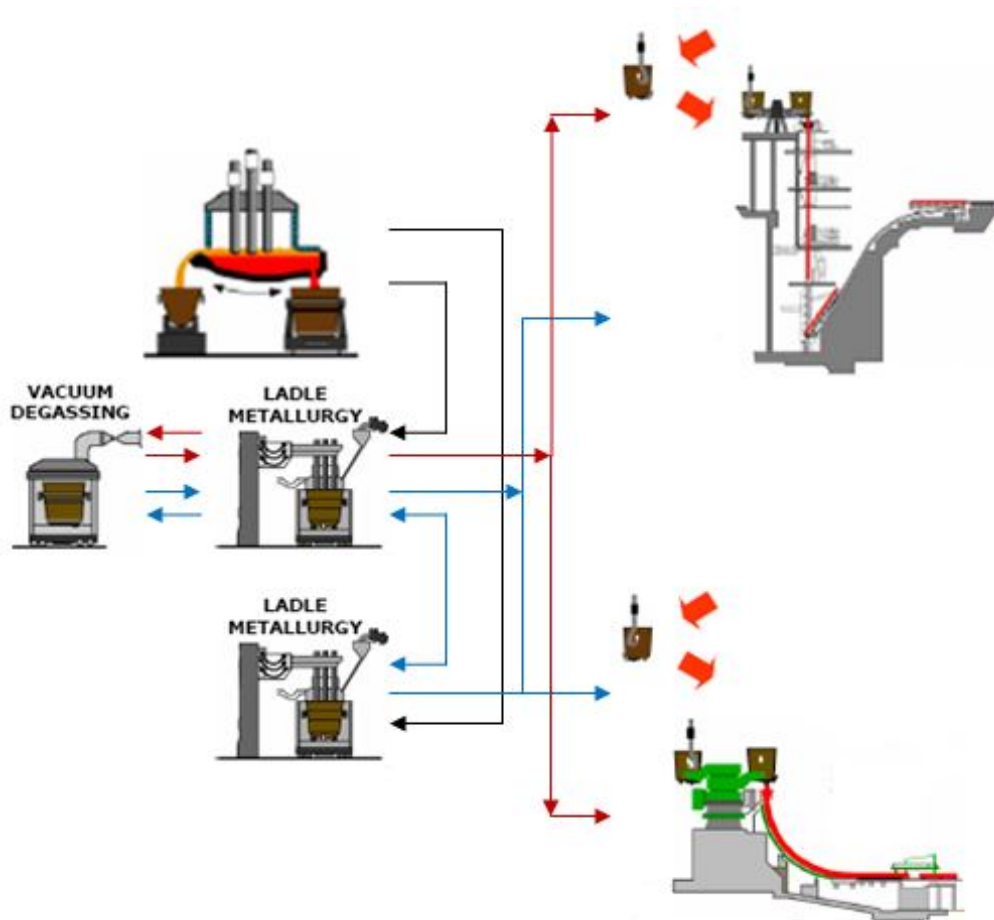


Figura 11 - Diagramma flusso fisico acciaieria

Il diagramma rappresenta in via semplificata la distribuzione spaziale delle macchine coinvolte nella produzione e i flussi che le siviere compiono per completare il processo produttivo.

2.2 Fusione

Nel forno si possono produrre in sequenza tutti i tipi di acciai con un *tap to tap* (tempo tra due spillate consecutive) pari a circa XX minuti e soggetto a bassa variabilità. La produzione è di circa XX tonnellate a spillata e dipende dal programma del laminatoio. A seconda della macchina di destinazione e della quantità di acciaio finito necessaria, viene stilato il programma di acciaio da produrre, definendo anche la quantità da produrre per ogni singola colata.

La quantità spillata dal forno dipende anche dalla tipologia di trattamento successivo:

- ❑ nel caso di vuoto spinto, la quantità spillabile è pari a XX ton, in quanto durante il vuoto si ha un aumento di volume della scoria che potrebbe straripare dalla siviera creando pericoli d'incendio
- ❑ nel caso di vuoto veloce, lo "spillato" sale a XX ton
- ❑ se non è richiesto vuoto, la quantità ottimale spillata è mediamente di XX ton

Il processo di fusione può essere suddiviso in tre fasi:

1. fase attiva (*power on*) ca. XX minuti necessari alla fusione dei metalli
2. fase inattiva necessaria (*power off*) ca. X minuti durante i quali si svolgono operazioni di "set-up" necessarie
3. fase fermo (*power off obbligato*) ca. X minuti imputabili a microinterruzioni, variabili da colata a colata

La produttività media del forno è pari a X0 – X0X ton/spillata, equivalente quindi a circa XX0 ton/ora,

considerando un numero di spillate pari mediamente a X0 al giorno. Il numero massimo teorico di spillate raggiungibile è XX al giorno.

Uno degli obiettivi della conduzione dell'acciaiera è di non fermare mai il forno, sebbene esso non venga considerato come l'elemento strategicamente più importante dell'acciaiera stessa.

Il forno viene fermato normalmente quando la produzione nella zona del *trattamento secondario* (forni di affinamento e impianto di degasaggio) è satura; si preferisce ritardare la spillata successiva piuttosto che avere una colata in circolo che non può essere servita dagli LF tempestivamente. Maggiore è il tempo di attesa delle colate, più grande sarà la diminuzione di temperatura rispetto a quella di spillata, con conseguente allungarsi del trattamento nei forni di affinamento per riportare la colata alla temperatura ottimale. Ad ognuno di questi fermi viene attribuita una causale di cattiva pianificazione.

Di diversa natura ed entità sono quei fermi dovuti a guasti del forno stesso, piuttosto che di una delle macchine a valle della produzione. Ogni fermata ha una definizione specifica in modo da avere sempre sotto controllo lo stato del sistema e l'incidenza di ogni singolo "incidente" su tutto l'impianto.

2.3 Metallurgia secondaria

L'acciaio spillato viene trasportato in uno dei due Ladle Furnace (LF), dove viene trattato per raggiungere le caratteristiche finali, con trattamenti di aggiunta di ferroleghie e degasaggio, se richiesto. La scelta tra i due LF è determinata dal capoturno sulla base della disponibilità delle macchine e del tipo di acciaio da realizzare. Un acciaio che richiede il trattamento di vuoto dovrà necessariamente subire tutto o almeno una parte del processo nella LF1 poiché qui si trova l'impianto di degassaggio. Attualmente questa tipologia di acciaio rappresenta mediamente il 20-25% della domanda mensile, tuttavia, la percentuale media può raggiungere anche il 30%.

Il tempo di ciclo negli LF si può suddividere macroscopicamente:

- ❑ X0/XX minuti - tempo medio di permanenza della siviera nella LF per la prima fase del processo
- ❑ XX/X0 minuti - tempo medio di permanenza della siviera nella postazione di vuoto (collegata direttamente tramite binari con LF1) per quegli acciai in cui è necessario incrementare il livello di degasaggio (già parzialmente attuato nel forno LF grazie al gorgogliamento della massa liquida creata dall'insufflazione di argon)
- ❑ X0 minuti - tempo medio di permanenza della siviera nella LF dopo il trattamento di vuoto o terminata la fase di riscaldamento e aggiunta ferroleghie

Il tempo di ciclo passa da un minimo di X0/XX minuti per quegli acciai che non richiedono trattamento di vuoto, a XX/XX per quelli che prevedono degasaggio, per

arrivare a circa XX0 minuti per gli acciai risolforati e altolegati che richiedano vuoto.

Esistono due tipologie di vuoto, *vuoto spinto* (VDS) che richiede una pressione di X millibar, e *vuoto veloce* (VDV) che richiede una pressione non superiore ai X00 millibar.

LF1 e LF2 sono intercambiabili tra di loro, ma l'unica a essere collegata direttamente alla postazione VD è LF1; accedere e uscire dalla postazione di vuoto richiede l'interruzione del trattamento di una eventuale colata in lavorazione.

Sul binario che conduce da LF1 a VD ci sono due carri:

- ❑ vessel, adibito al processo di vuoto (ma utilizzabile anche per il processo di affinamento nella LF)
- ❑ morello, impiegabile solo per affinamento

Il fatto che vessel e morello siano in linea limita le possibilità di accesso all'impianto di degasaggio.

Se il vessel è utilizzato ad esempio per la fase *zona rossa* sotto LF1, l'impianto di vuoto non può operare fin quando il vessel non sia stato liberato dalla colata precedente e caricato con quella pronta per essere degasata.

2.4 Colata continua

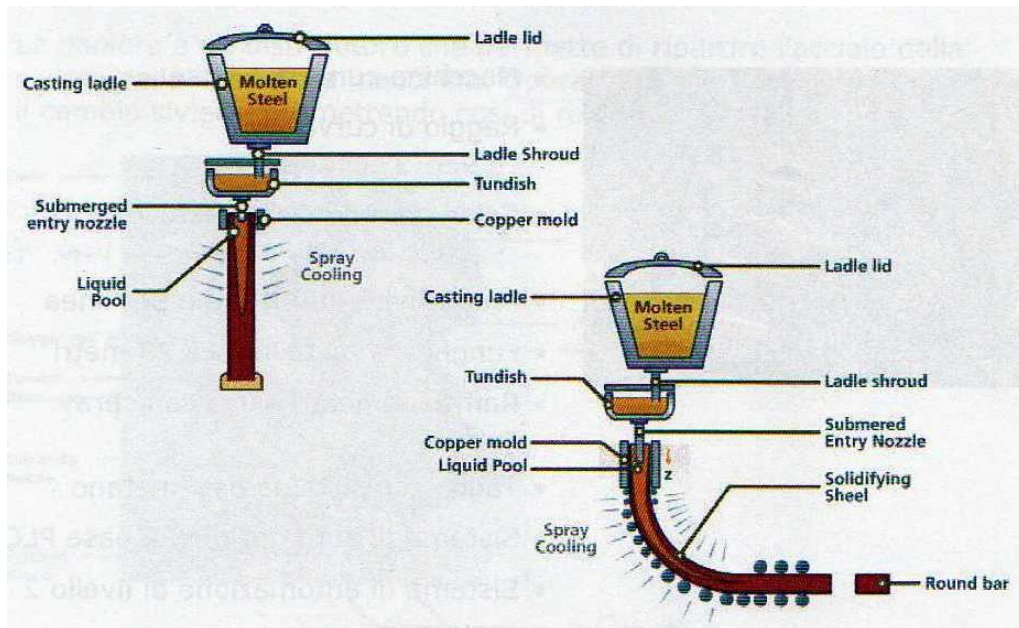


Figura 12 - Schema colata continua verticale e curva

La colata continua, sia essa verticale o curva, può essere suddivisa in tre fasi:

1. alimentazione acciaio liquido
2. solidificazione primaria
3. solidificazione secondaria

L'alimentazione è garantita dalla *paniera*¹ e dal SEN (submerged entry nozzle), un tubo in refrattario che collega la paniera alla *lingottiera*², zona in cui avviene la prima fase di solidificazione. Il flusso di acciaio liquido è

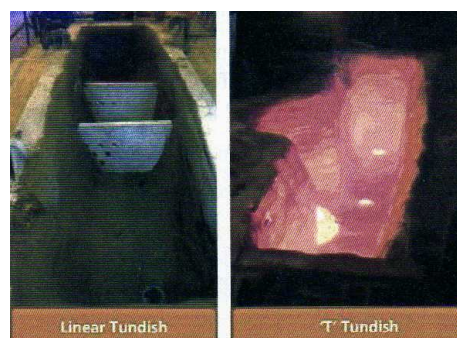


Figura 13 - Esempi di paniera

¹ Distributore che ripartisce l'acciaio della siviera nelle linee della macchina, operando da polmone durante il cambio siviera, permettendo in pratica le sequenze di colate.

² Cristallizzatore costituito da un tubo in lega di rame raffreddato ad acqua.

controllato da un sistema asta tampone, che permette la ottimale regolazione dell'afflusso d'acciaio nelle lingottiere per ogni linea.

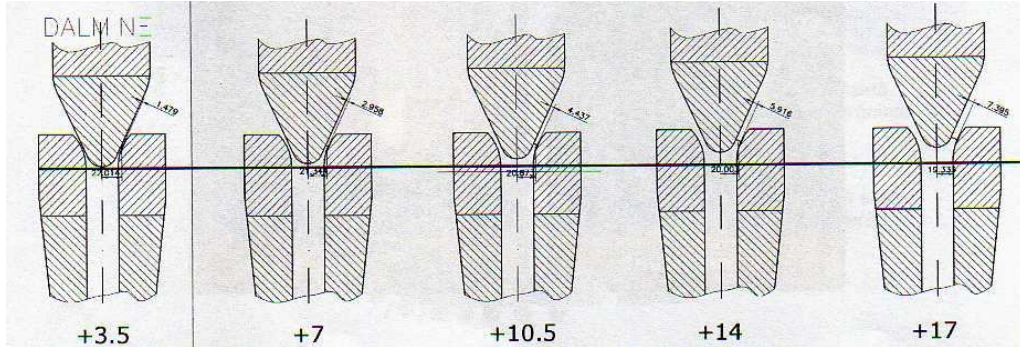


Figura 14 - Regolazione flusso attraverso tampone

La solidificazione inizia nella lingottiera (sistema di raffreddamento primario), prosegue tramite getti di acqua e di aria/acqua direttamente sulle barre (sistema raffreddamento secondario) e si conclude per irraggiamento/convezione in aria.

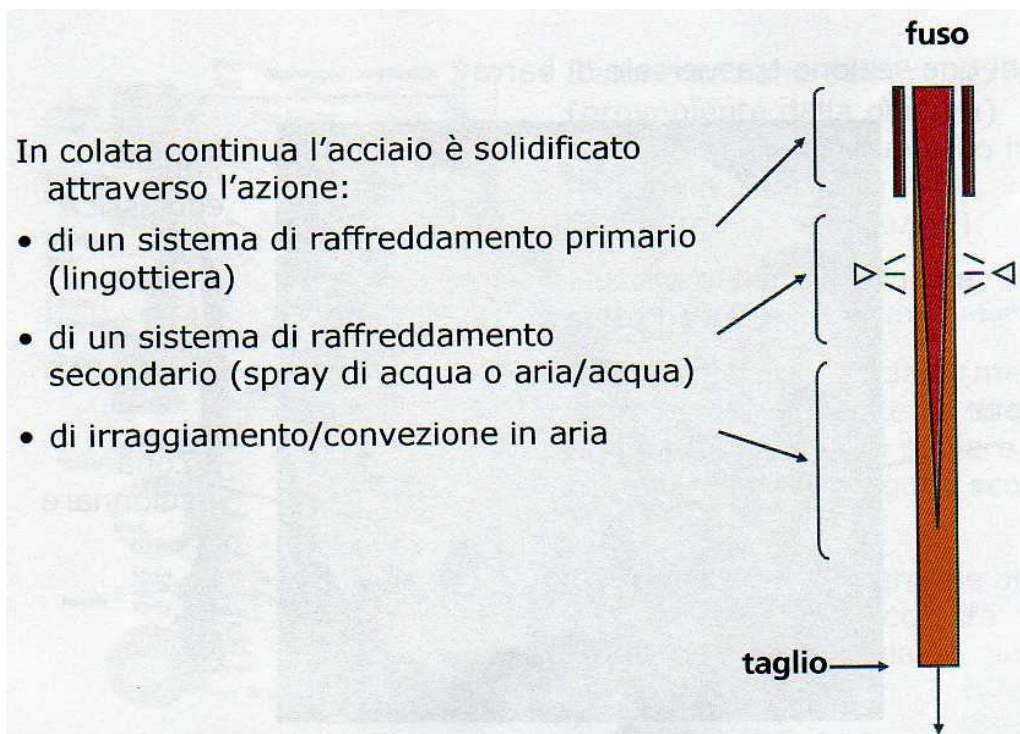


Figura 15 - Esempificazione fasi di raffreddamento

Entrambe le macchine di colata hanno quattro linee, ognuna con una potenzialità di ca. 400 kg/min. Possono funzionare a tre linee ed eventualmente iniziare una sequenza di colate a tre e poi passare a quattro linee; iniziata una sequenza a quattro linee, nel caso se ne chiuda una, questa non può essere riaperta, se non interrompendo la sequenza e quindi il continuo.

Le due macchine differiscono sia per i calibri delle barre in grado di produrre sia per la tipologia di colata:

- ❑ CCo1 ha una lunghezza totale di XX[m] e produce barre con diametri di XX0[mm], XX0[mm] e XXX[mm]. La colata avviene in verticale e le barre a XX[m] al di sotto della superficie vengono tagliate tramite ossitaglio, caricate su appositi carrelli e riportate in superficie, dove vengono numerate e stoccate nel parco barre, prima di essere mandate ai laminatoi
- ❑ CCo2 produce barre con diametri di XXX[mm], XXX[mm], XXX[mm] e XXX[mm]. La colata è curva, questo è consentito dai minori diametri delle barre che permettono un raddrizzamento con raggi di curvatura non eccessivi (X.X[m] – XX.X[m] – XX.X[m]). Una volta in piano, le barre vengono tagliate, sempre tramite ossitaglio, numerate e stoccate nel parco barre per poi essere lavorate nei laminatoi.

Per motivi di *mercato*³ e di *logiche interne*⁴, CCo1, adibita ai grossi calibri, è considerata la macchina strategica per la produzione di Dalmine. Si cerca infatti di saturare “*macchina 1*”, sacrificando CCo2 di cui si tollerano fermi.

Un limite per la produzione in continuo è il numero massimo di colate eseguibili dalla stessa paniera che è attualmente pari a XX[Co/pan], ma, nella realtà, esigenze di produzione portano la media delle colate eseguite per paniera a circa X,X[Co/pan] per CCo1 e X,X[Co/pan] per CCo2 che è alimentata con gli *avanzi*⁵ del forno.

Altro limite è l'impossibilità di processare in continuo acciai con caratteristiche chimiche differenti senza che questo generi scarti di produzione. Durante la fase di pianificazione si cerca di mettere in sequenza acciai compatibili in modo da ottimizzare la quantità di *barre buone* prodotte. La schedulazione delle colate è messa in pratica dal capoturno, sulla base del programma che perviene dal laminatoio.

La lunghezza della sequenza dipende anche dal numero di linee di colata attive, con la relazione che, al diminuire delle linee attive, diminuisce la serie in continuo.

Per aumentare la flessibilità di entrambe le macchine, si effettua lo *Intermix*, la possibilità, cioè, di colare acciai diversi senza richiedere lo svuotamento della paniera e quindi l'interruzione del continuo. Lo

³ Le commesse maggiori di TenarisDalmine provengono dal settore petrolifero, quindi dei grandi calibri.

⁴ Tenaris è proprietaria anche di Silcotub, acciaieria romena in cui si producono barre di diametro pari a quelle che produce CCo2.

⁵ Per avanzo sul forno si intende la possibilità di spillare una colata senza che questo abbia impatto sulla produzione di CCo1.

Intermix identifica lo spessore tra due *barre buone* prodotto con un acciaio la cui composizione chimica è data dal mix di quella dei due acciai colati in sequenza. In generale lo Intermix non rispetta le specifiche di progetto e, in fase di taglio, la zona non a norma è opportunamente identificata e scartata.

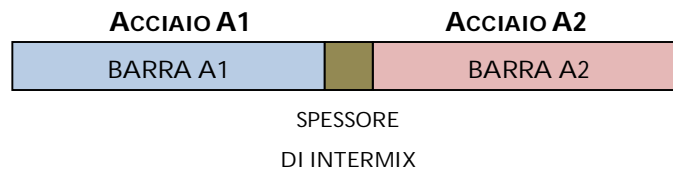


Figura 16 - Composizione di una barra applicando Intermix

Per far fronte al deperimento delle paniere invece, si effettua il FLY-TUNDISH. Questo accorgimento evita di mandare a ripristino le macchine di colata, azione che prevede tempi di setup elevati, e permette di aumentare il numero di siviere colabili senza interrompere il continuo. In coda all'ultima colata si inserisce nella lingottiera uno spessore composto da barrette di acciaio e altri materiali. Questi materiali, a contatto con l'acciaio fuso, fondono a loro volta, riempiendo il volume necessario per garantire il collegamento con la colata successiva. Si aumenta così la continuità di alimentazione. Questo approccio richiede lo svuotamento totale della paniera e il tempo di inserimento delle barre è di circa X0/XX minuti, ben inferiore, comunque, a un ripristino.

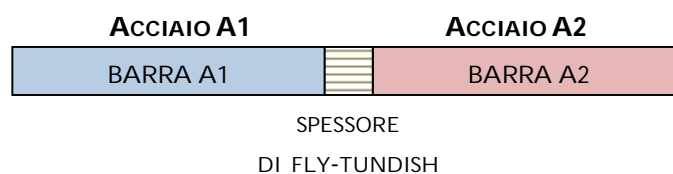


Figura 17 - Composizione di una barra applicando Fly-tundish

2.5 Vincoli di produzione

Nel corso dell'analisi del processo produttivo, sono emersi alcuni vincoli che è opportuno mettere in evidenza. In particolare, possiamo classificare i vincoli in tre macroclassi principali:

1. Vincoli legati al prodotto

- temperatura di spillata del forno
 - temperature di spillata troppo basse comportano la necessità di riscaldare la siviera prima di iniziare la lavorazione nella LF
- temperatura di ingresso in LF e relativi tempi di lavorazione
 - i tempi di riscaldamento in LF dipendono dalla temperatura di spillata e dal tempo di attesa prima della lavorazione
- congruenza analisi chimiche con qualità richiesta di acciai
 - presenza di inquinanti
- velocità di raffreddamento acciaio in siviere in attesa di lavorazione o colata
 - tempi di attesa lunghi comportano la necessità di riscaldare nuovamente la siviera

2. Vincoli infrastrutturali

- unica stazione VD
 - posizionamento poco accessibile

- ❑ possibilità limitata di intermix
 - rallentamento CCo1
- ❑ tempi di set-up e fly-tundish
 - rallentamento CCo1

3. Vincoli di processo

- ❑ produzione orientata a garantire il continuo su CCo1
- ❑ numero massimo di siviere in WIP ridotto a 6/7 a causa dello spazio disponibile e delle possibilità di movimentazione efficace
- ❑ prestazioni del processo influenzate dal mix di produzione

2.6 Svincolare la produzione

Negli ultimi anni, a causa della crisi petrolifera che si è sviluppata a livello mondiale, sono incrementate notevolmente le richieste di acciai speciali per il settore petrolifero (perforazioni, condotte, etc.).

A livello produttivo questo si è tradotto con la necessità di eseguire con frequenza maggiore il trattamento di vuoto spinto.

Questo aumento, attualmente sostenibile, ha comunque messo in evidenza la poca flessibilità dell'impianto nel gestire sequenze di colate che prevedano trattamento di vuoto.

Ad oggi la media di produzione di questi acciai si attesta intorno al 20% su base mensile, ma, nell'ottica del "Servizio Totale al Cliente", i dati giornalieri mettono in luce come la domanda di questi acciai possa arrivare a punte anche del 100% su base giornaliera.

Il layout attuale non è in grado di sopportare una produzione con il 100% di acciai che richiedano vuoto, a meno di cessare completamente la produzione per CCo2 e allungare i tempi di inattività del forno.

Nella realtà si ovvia a questa incapacità, spezzando le sequenze di acciai che richiedano vuoto, penalizzando l'utilizzo delle paniere, ma garantendo la produzione anche su *macchina 2* e riducendo le interruzioni del forno.

Per far fronte all'evoluzione delle esigenze di produzione è necessario aumentare la flessibilità dell'impianto, andando a eliminare, o quantomeno ridurre, l'impatto che la gestione di colate con trattamento VD ha oggi sulla produzione di tutta

l'acciaieria. La presenza di un solo impianto per il trattamento di vuoto e il suo posizionamento, vincolato agli spostamenti anche delle colate in lavorazione sotto il forno di affinamento 1, sono i nodi cruciali da sciogliere.

E' utile intervenire non solo sull'impianto VD, ma anche su LF1 e LF2, nel tentativo di slegarle dalle fasi di processo in cui non sia richiesto l'utilizzo degli elettrodi, creando in pratica una zona dell'impianto dedicata alla fase descritta nel primo capitolo e denominata *zona rossa*.

Le modifiche rivolte ad una maggiore flessibilità di tutto il sistema di trattamento secondario possono essere riassunte in cinque punti:

1. avere quattro postazioni in cui depositare le siviere, senza doverle poi movimentare con il carro ponte
 - riduzione tempi di movimentazione delle siviere e dell'impegno del carro ponte
2. svincolare le postazioni di trimming da quelle di riscaldamento
 - portare il ciclo di trattamento a X0' LF + X0' VD + X0' Trimming
3. ridurre al minimo movimentazioni delle siviere in sala
 - riduzione rischi di incidenti
4. avere doppia postazione VD
 - alimentare in continuo CCo1 con sequenza di vuoti e consentire l'esecuzione di colate con vuoto anche in CCo2

5. avere la possibilità una volta degasato, di tornare a riscaldare l'acciaio senza movimentare la siviera con il carro ponte
 - ridurre l'impegno gru ed evitare le interruzioni di trattamento di colate successive già in trattamento agli LF

CAPITOLO 3
IPOSTESI DI MODIFICA

3.1 Flussi allo studio

Dopo aver vagliato diverse soluzioni di modifica all'impianto attuale, l'analisi finale si è focalizzata su due ipotesi che sembravano, sulla carta, rispondere alle esigenze di maggiore flessibilità:

1. HP1, votata alla completa flessibilità della produzione, ma onerosa

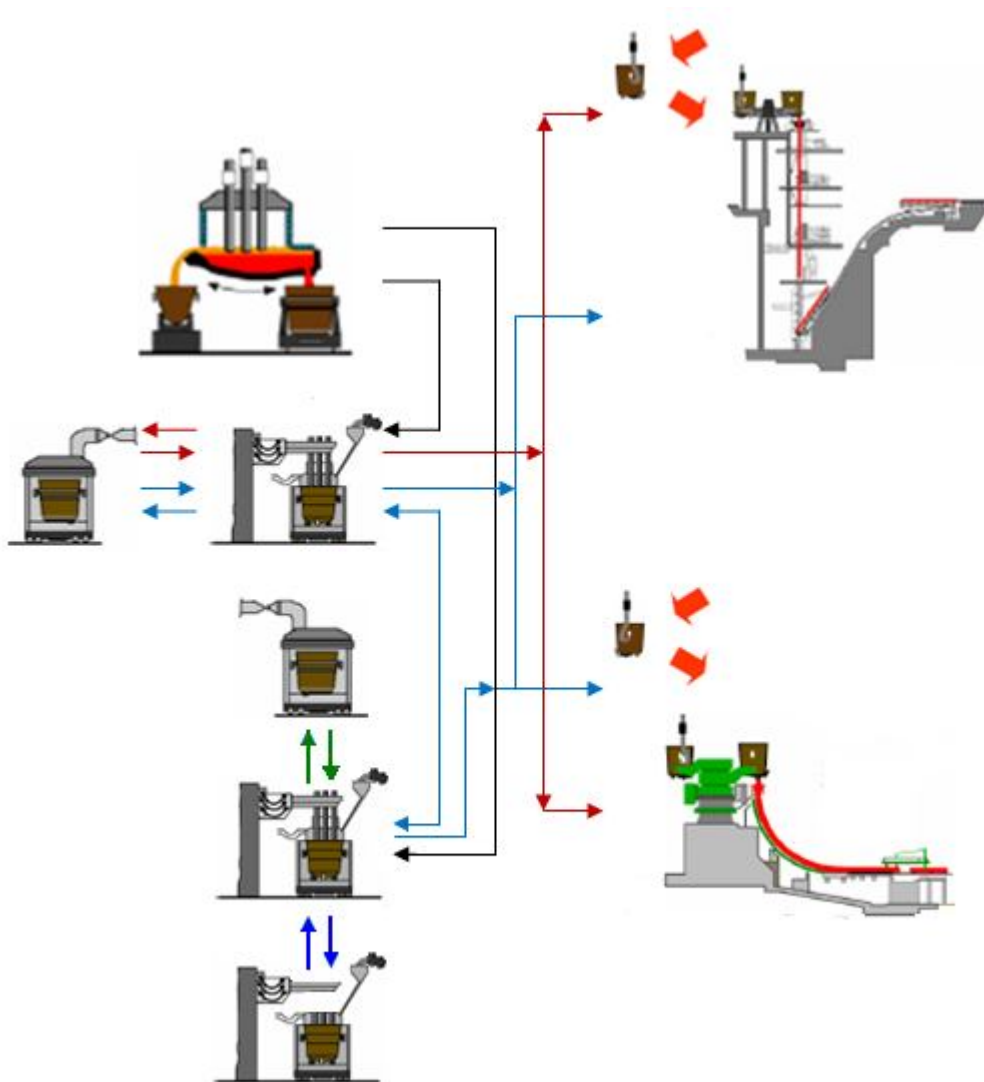


Figura 18 - Diagramma semplificato flussi fisici - HP1

2. HP2, compromesso tra miglioramento delle prestazioni e risparmio economico

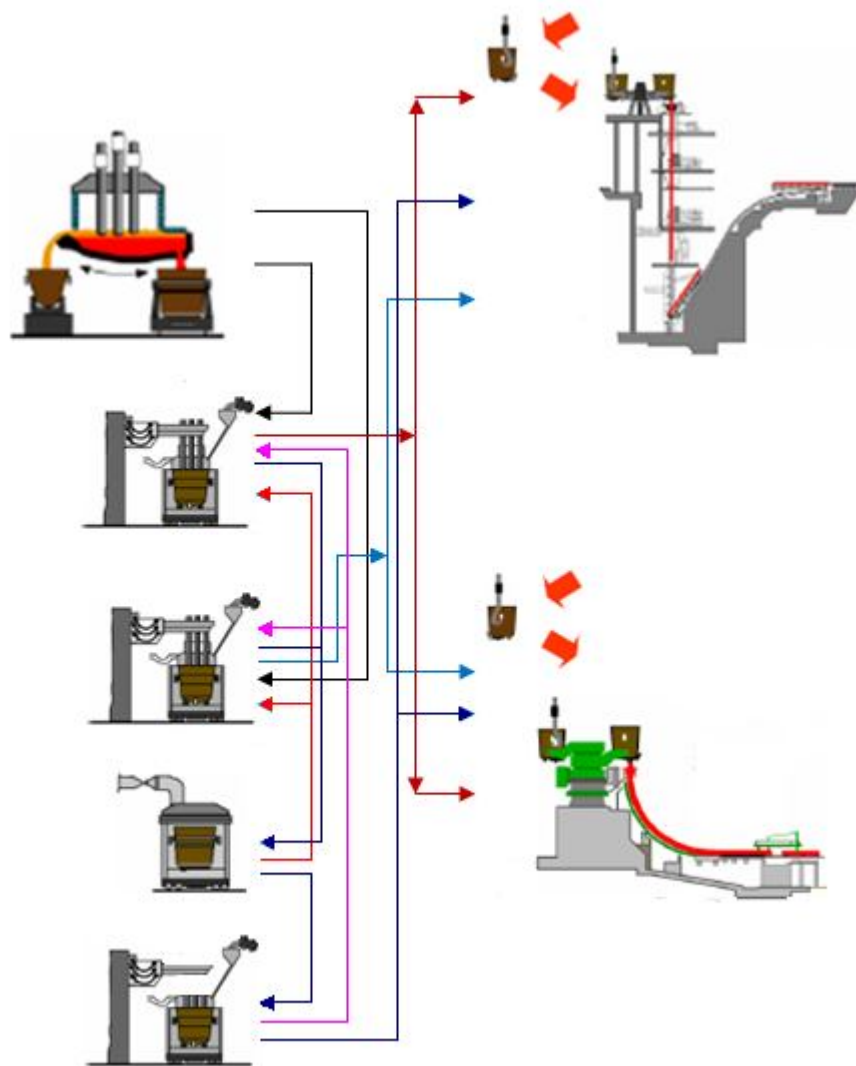


Figura 19 - Diagramma semplificato flussi fisici - HP2

3.2 Ipotesi 1 – HP1

Modifiche all'impianto:

- ❑ rotazione di 90° di LF2
- ❑ aggiunta postazione trimming
- ❑ aggiunta postazione VD

Il forno di affinamento sarà servito da due carri, un morello e un vessel, entrambi utilizzabili anche per servire rispettivamente trimming e VD. Nella nuova postazione VD sarà possibile realizzare trimming, mentre LF1 e attuale VD rimarranno immutati. Con questa configurazione non sarà possibile effettuare contemporaneamente vuoti nei due VD, poiché l'impianto di pompe rimarrà unico. Verranno impiegati i carri vessel attualmente a disposizione, mentre sarà necessario realizzare una nuova cappa e un relativo sistema di movimentazione. La nuova cappa sarà predisposta per il futuro utilizzo con lancia ossigeno per trattare acciai speciali a basso carbonio. LF2 sarà totalmente recuperato, sarà possibile anticipare la costruzione della nuova cabina trasformatore, impiegando l'attuale trasformatore a scorta (la linea 30kV sarà riutilizzata). Con questa configurazione, sarà possibile realizzare un'unica cabina di controllo per LF2 e VD come per LF1 e l'impianto ferroleghie verrà modificato per rendere indipendente lo scarico del materiale da LF1. In caso di necessità, sarà possibile dopo degasaggio, ritornare a scaldare l'acciaio senza movimentare la siviera con carroponete.

Costo investimento:

➤ X_{HP1} M€

3.2.1 Capacità attesa da HP1

Obiettivo	HP1
4 postazioni di lavoro per le siviere, senza movimenti con il carro ponte	<p>LF1 2 carri 2 postazioni di lavoro</p> <p>LF2 2 carri 3 postazioni di lavoro</p> <p>In entrambe le postazioni una colata può iniziare e terminare tutte le fasi del trattamento sul medesimo carro</p>
Svincolare trimming da riscaldamento	<p>LF1 1. trimming su vessel sotto VD1</p> <p>LF2 1. trimming su vessel sotto VD2 2. trimming su morello in postazione TRIM</p>
Riduzione movimentazione siviere	Aumento numero di colate che compiono l'intero ciclo di trattamento secondario su un unico carro
Doppia postazione VD	Presenza di due cappe VD, ma impossibilità di utilizzo contemporaneo
Collegamento diretto tra trimming e LF	Collegamento presente sia per LF1 che per LF2.

Tabella 2 – Caratteristiche attese da HP1

3.3 Ipotesi 2 – HP2

Modifiche all'impianto:

- ❑ riposizionamento dell'impianto VD
- ❑ aggiunta postazione trimming

LF1 e LF2 rimarranno immutati. Trimming e VD saranno serviti da due carri indipendenti, rispettivamente un morello e un vessel. L'impianto VD attuale sarà completamente riutilizzato e così pure il vessel. Nella nuova postazione VD sarà possibile realizzare trimming. La cappa sarà predisposta per il futuro utilizzo con lancia ossigeno per trattare acciai speciali a basso carbonio. Questa configurazione comporta l'aggiunta di una nuova cabina di controllo e si prevede un maggior utilizzo del carro ponte per movimentare le siviere tra una stazione e l'altra. In caso di riscaldamento successivo al trattamento di vuoto, ad esempio, sarà necessario utilizzare la gru per riportare la siviera sotto a uno dei due LF.

Costo investimento:

- 60% di X_{HP1} M€

Compito della simulazione sarà mettere in luce se questa soluzione necessita o meno della sostituzione dell'attuale carro ponte di colaggio, attualmente a fine vita utile e utilizzato solo per attività di appoggio alla GRU principale.

Costo investimento:

- 37% di X_{HP1} M€

Costo investimento

comprensivo sostituzione GRU:

- 97% di X_{HP1} M€

3.3.1 Capacità attesa da HP2

Obiettivo	HP2
4 postazioni di lavoro per le siviere, senza movimenti con il carroponte	4 postazioni di lavoro e 4 carri, con la sola possibilità per le colate VDN di terminare il trattamento secondario su un unico carro
Svincolare trimming da riscaldamento	Unica postazione trimming indipendente
Riduzione movimentazione siviere	Riduzione numero di colate che compiono l'intero ciclo di trattamento secondario su un unico carro
Doppia postazione VD	Unica postazione VD indipendente
Collegamento diretto tra trimming e LF	Assenza di collegamento diretto

Tabella 3 – Caratteristiche attese da HP2

CAPITOLO 4
MODELLAZIONE

4.1 Raccolta input

Primo passo verso la realizzazione dei modelli è stato raccogliere tutti gli input che sarebbero poi serviti per le simulazioni:

- tap to tap del forno
- quantità spillata
- fasi LF
- vuoto
- fly-tundish
- ripristino CCo
- movimentazioni

Grazie al sistema informativo di Tenaris, è stato possibile scaricare dal sito intranet di Automazione i dati riguardanti tempi di lavorazione e quantità lavorate.

Tramite i sistemi TFC (*Tenaris Factory Control*) e TPC (*Tenaris Process Control*) è possibile ottenere, per ogni singola fase del processo, i dati di produzione di tutte le colate.

Per avere una rappresentazione ampia e varia della realtà produttiva dell'acciaiera, si è scelto di utilizzare i dati relativi al periodo gennaio - giugno 2008. E' stato così realizzato un foglio di calcolo contenente tutti i dati delle colate prodotte nel periodo di riferimento.

Numero Colata	Quantità spillata	Codice acciaio	Calibro	Tipo VD	Ora spillata	Durata fase 1 LF	Durata fase 2 LF	Durata vuoto	Inizio Cco	Fine Cco
1	XX [ton]	XXX	XXX [mm]	VDN	XX.XX	XX [min]	XX [min]	XX [min]	XX.XX	XX.XX
2	XX [ton]	XXX	XXX [mm]	VDN	XX.XX	XX [min]	XX [min]	XX [min]	XX.XX	XX.XX
3	XX [ton]	XXX	XXX [mm]	VDN	XX.XX	XX [min]	XX [min]	XX [min]	XX.XX	XX.XX
4	XX [ton]	XXX	XXX [mm]	VDS	XX.XX	XX [min]	XX [min]	XX [min]	XX.XX	XX.XX
5	XX [ton]	XXX	XXX [mm]	VDN	XX.XX	XX [min]	XX [min]	XX [min]	XX.XX	XX.XX
6	XX [ton]	XXX	XXX [mm]	VDS	XX.XX	XX [min]	XX [min]	XX [min]	XX.XX	XX.XX
7	XX [ton]	XXX	XXX [mm]	VDN	XX.XX	XX [min]	XX [min]	XX [min]	XX.XX	XX.XX
8	XX [ton]	XXX	XXX [mm]	VDN	XX.XX	XX [min]	XX [min]	XX [min]	XX.XX	XX.XX
9	XX [ton]	XXX	XXX [mm]	VDV	XX.XX	XX [min]	XX [min]	XX [min]	XX.XX	XX.XX
10	XX [ton]	XXX	XXX [mm]	VDN	XX.XX	XX [min]	XX [min]	XX [min]	XX.XX	XX.XX
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Figura 20 - Struttura del foglio di raccolta input

Prima di passare all'analisi statistica dei dati, si è effettuata una prima scrematura per eliminare i valori fuoricampione. Osservando le tempistiche di ogni fase, sono subito emersi dei dati che si discostavano sensibilmente dagli altri. Partendo dal presupposto che i tempi di lavorazione di una fase avrebbero avuto ripercussioni su quello totale, si sono incrociati i valori delle singole fasi con quelli di attraversamento totale. Molti dati relativi a singole fasi di lavorazione sono risultati non compatibili con i tempi totali di processo, probabilmente a causa di errori in fase di rilevazione o da parte dei sistemi automatici o degli operatori. I dati così ottenuti sono stati successivamente suddivisi in tre popolazioni:

1. VDN \Rightarrow acciai senza trattamento di vuoto
2. VDV \Rightarrow acciai con trattamento di vuoto veloce
3. VDS \Rightarrow acciai con trattamento di vuoto spinto

Quantità spillate e durate dei trattamenti variano in base al trattamento di vuoto cui è sottoposta la colata. Le tre famiglie così ottenute sono state elaborate tramite l'analizzatore di input di Arena, in modo da ricondurle a distribuzioni statistiche da utilizzare nella simulazione.

Discorso differente per quanto riguarda le movimentazioni. Attualmente, infatti, i sistemi TFC e TPC non riportano alcun riferimento rispetto a gru e movimentazioni in generale. Si è così deciso di procedere con la rilevazione cronometrica delle movimentazioni in acciaieria:

- spostamenti su binario
- carico/scarico siviere tramite gru

□ movimentazioni aeree tramite gru

Dopo alcuni giorni di lavoro, ci si è resi conto che, mentre per gli spostamenti su binario e per il carico/scarico aveva senso procedere raccogliendo una popolazione di dati da esaminare statisticamente, per quanto riguardava gli spostamenti aerei delle siviere, si doveva procedere diversamente. Il numero di movimentazioni aeree possibili ha sconsigliato di procedere raccogliendo i loro tempi, poiché per avere un campione significativo per ogni spostamento, si sarebbe dovuto spendere un numero indefinito di ore.

Si è spezzata ogni movimentazione in tre fasi:

1. carico siviera e transitorio d'avvio
(dal posizionamento della gru sopra la siviera, fino al termine della risalita della gru carica)
2. traslazione a regime
3. transitorio d'arresto e scarico siviera
(dall'inizio della fase di discesa, fino all'inizio della risalita della gru libera)

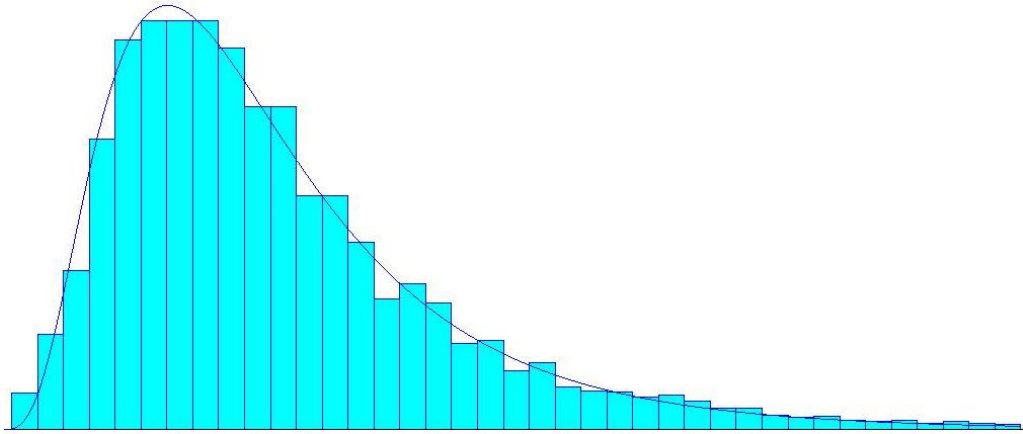
Come detto precedentemente, i tempi delle fasi 1 e 3 sono stati cronometrati, mentre la fase 2 è stata approssimata. Dalla pianta dell'acciaiera e dai dati tecnici della gru, sono state ricavate rispettivamente le distanze tra le stazioni di lavoro e la velocità in condizioni operative. I tempi di traslazione a regime sono il frutto del rapporto tra la distanza dei vari punti di carico/scarico e la velocità della gru.

Percorso	Distanza	Tempo
c.colata → LF1	X [m]	YY [sec]
c.colata → LF2	X [m]	YY [sec]
LF1 → CCo1	XX [m]	YY [sec]
LF1 → CCo2	XX [m]	YY [sec]
LF2 → CCo1	XX [m]	YY [sec]
LF2 → CCo2	X [m]	YY [sec]
LF1 ↔ LF2	XX [m]	YY [sec]
CCo1 → ripristino	XX [m]	YY [sec]
CCo2 → ripristino	XX [m]	YY [sec]
ripristino → c.colata	XX [m]	YY [sec]
ripristino → riscaldamento2	XX [m]	YY [sec]
ripristino → riscaldamento3	XX [m]	YY [sec]
ripristino → riscaldamento4	XX [m]	YY [sec]
riscaldamento2 → c.colata	X [m]	YY [sec]
riscaldamento3 → c.colata	XX [m]	YY [sec]
riscaldamento4 → c.colata	XX [m]	YY [sec]

Tabella 4 – Movimentazioni standard effettuate tramite carro ponte

4.2 Analisi statistica input

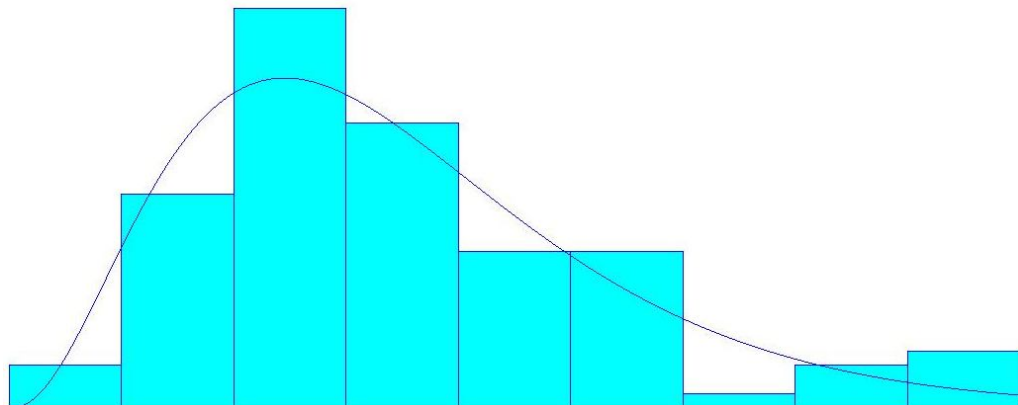
Plot dei dati riferiti al tap to tap degli acciai VDN



Riassunto distribuzione	
Tipo distribuzione	Logonormale
Espressione	XX + LOGN(8.2 , 5.04)
Errore quadratico medio	0.000275
Test Chi ²	
N° intervalli	32
Gradi di libertà	29
Statistica test	41.1
p-value corrispondente	7.03 %
Test Kolmogorov-Smirnov	
Statistica test	0.0174
p-value corrispondente	> 15 %
Riassunto dati	
Dimensione campione	3655
Minimo	XX
Massimo	XX.X
Media	XX.X
Deviazione standard	4.69

Tabella 5 - Caratteristiche distribuzione tap to tap acciai VDN

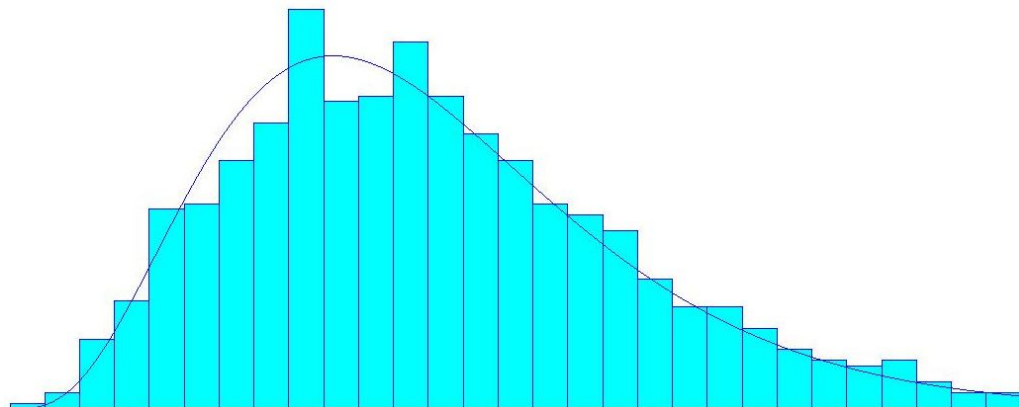
Plot dei dati riferiti al tap to tap degli acciai VDV



Riassunto distribuzione	
Tipo distribuzione	Gamma
Espressione	XX + GAMMA(2.42 , 3.37)
Errore quadratico medio	0.007719
Test Chi²	
N° intervalli	5
Gradi di libertà	2
Statistica test	2.73
p-value corrispondente	25.7 %
Test Kolmogorov-Smirnov	
Statistica test	0.0465
p-value corrispondente	> 15 %
Riassunto dati	
Dimensione campione	96
Minimo	XX.X
Massimo	XX.X
Media	XX.X
Deviazione standard	4.36

Tabella 6 – Caratteristiche distribuzione tap to tap acciai VDV

Plot dei dati riferiti al tap to tap degli acciai VDS



Riassunto distribuzione

Tipo distribuzione	Gamma
Espressione	XX + GAMMA(1.81 , 4.35)
Errore quadratico medio	0.000720

Test Chi²

N° intervalli	23
Gradi di libertà	20
Statistica test	13.8
p-value corrispondente	> 75 %

Test Kolmogorov-Smirnov

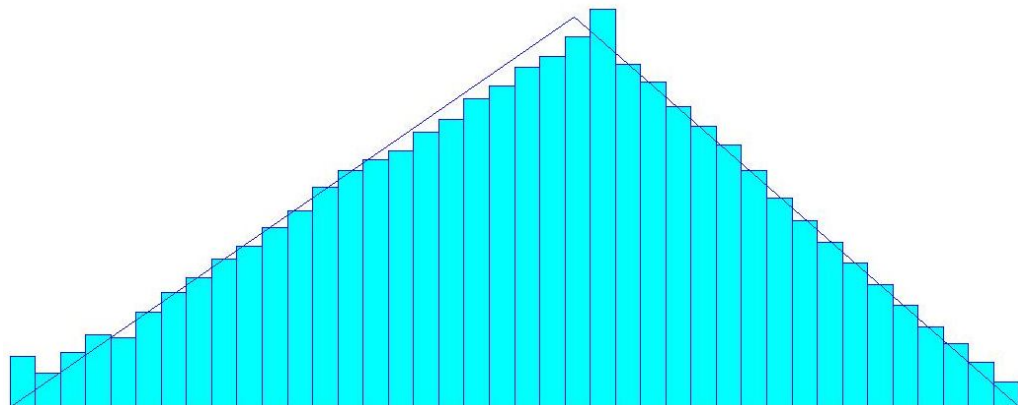
Statistica test	0.0275
p-value corrispondente	> 15 %

Riassunto dati

Dimensione campione	855
Minimo	XX.X
Massimo	XX.X
Media	XX.X
Deviazione standard	3.61

Tabella 7 - Caratteristiche distribuzione tap to tap acciai VDS

Plot dei dati riferiti allo spillato degli acciai VDN



Riassunto distribuzione

Tipo distribuzione	Triangolare
Espressione	TRIA(XXX00 ,XXX00 , XXX000)
Errore quadratico medio	0.000103

Test Chi²

N° intervalli	38
Gradi di libertà	36
Statistica test	50.8
p-value corrispondente	5.17 %

Test Kolmogorov-Smirnov

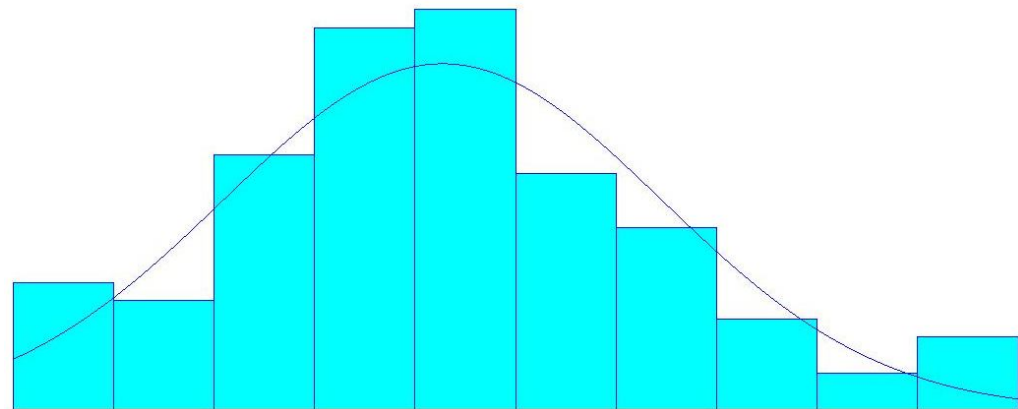
Statistica test	0.018
p-value corrispondente	> 15 %

Riassunto dati

Dimensione campione	3692
Minimo	XXX00
Massimo	XXX000
Media	XXX00
Deviazione standard	2050

Tabella 8 - Caratteristiche distribuzione spillato acciai VDN

Plot dei dati riferiti allo spillato degli acciai VDV



Riassunto distribuzione

Tipo distribuzione	Normale
Espressione	NORM(XXX00 , 2610)
Errore quadratico medio	0.005306

Test Chi²

N° intervalli	7
Gradi di libertà	4
Statistica test	1.94
p-value corrispondente	74.7 %

Test Kolmogorov-Smirnov

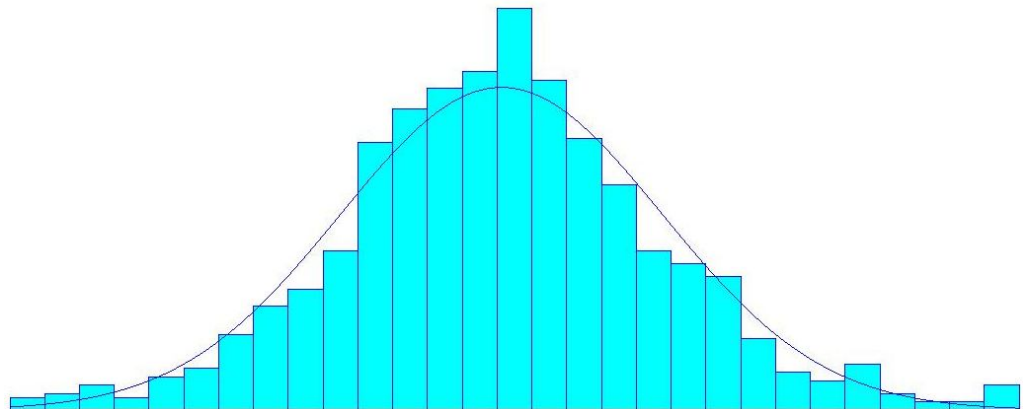
Statistica test	0.102
p-value corrispondente	> 15 %

Riassunto dati

Dimensione campione	104
Minimo	XX000
Massimo	XX000
Media	XXX00
Deviazione standard	2610

Tabella 9 – Caratteristiche distribuzione spillato acciai VDV

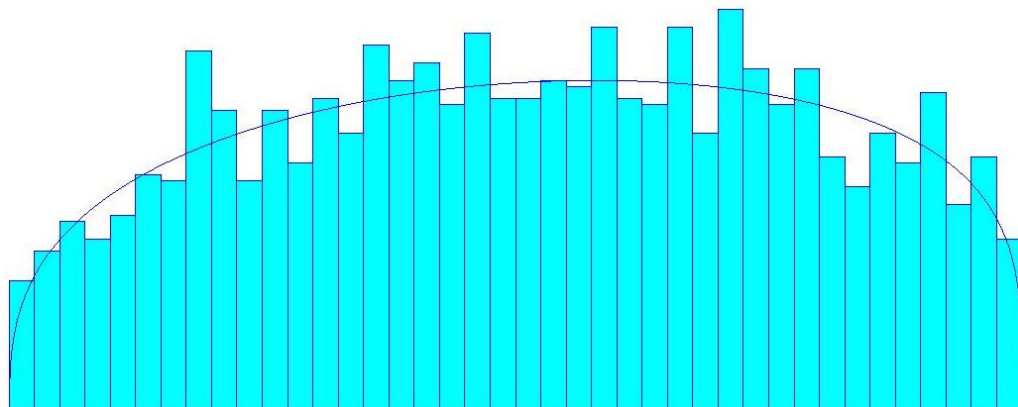
Plot dei dati riferiti allo spillato degli acciai VDS



Riassunto distribuzione	
Tipo distribuzione	Normale
Espressione	NORM(XX000 , 1850)
Errore quadratico medio	0.001273
Test Chi²	
N° intervalli	20
Gradi di libertà	17
Statistica test	23.6
p-value corrispondente	14.1 %
Test Kolmogorov-Smirnov	
Statistica test	0.0324
p-value corrispondente	> 15 %
Riassunto dati	
Dimensione campione	895
Minimo	XX000
Massimo	XX000
Media	XX000
Deviazione standard	1850

Tabella 10 – Caratteristiche distribuzione spillato acciai VDS

Plot dei dati riferiti alla Fase 1 LF degli acciai VDN



Riassunto distribuzione

Tipo distribuzione	Beta
Espressione	$XX + 27 * \text{BETA}(1.36, 1.26)$
Errore quadratico medio	0.000459

Test Chi²

N° intervalli	40
Gradi di libertà	37
Statistica test	36.2
p-value corrispondente	50.7 %

Test Kolmogorov-Smirnov

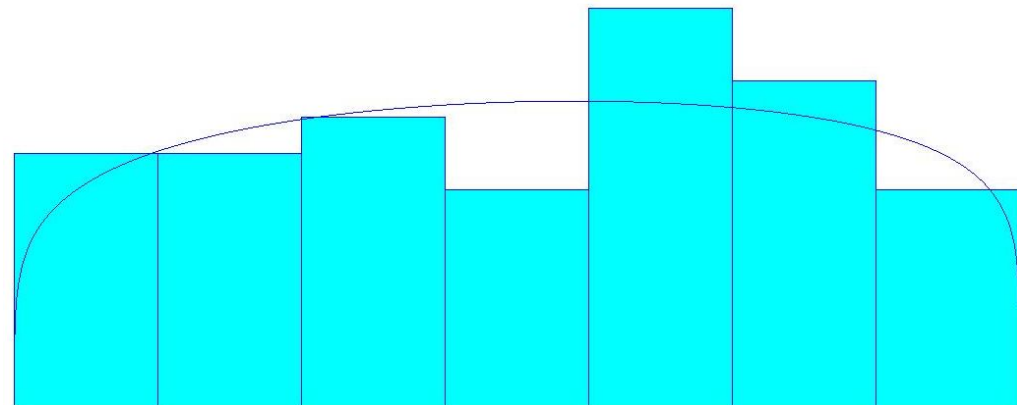
Statistica test	0.0226
p-value corrispondente	> 15 %

Riassunto dati

Dimensione campione	1925
Minimo	XX.X
Massimo	XX.X
Media	XX
Deviazione standard	7.1

Tabella 11 - Caratteristiche distribuzione fase 1 acciai VDN

Plot dei dati riferiti alla Fase 1 LF degli acciai VDV



Riassunto distribuzione

Tipo distribuzione	Beta
Espressione	$XX + 30 * \text{BETA}(1.21, 1.17)$
Errore quadratico medio	0.005358

Test Chi²

N° intervalli	7
Gradi di libertà	4
Statistica test	1.94
p-value corrispondente	74.6 %

Test Kolmogorov-Smirnov

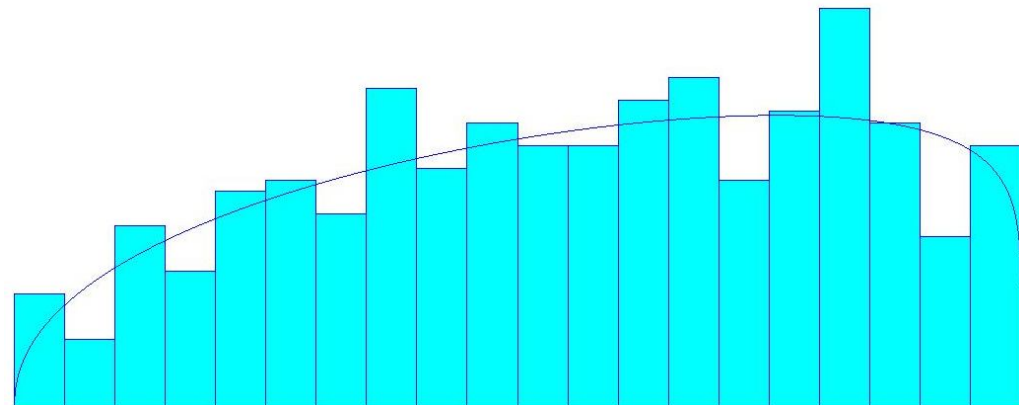
Statistica test	0.0703
p-value corrispondente	> 15 %

Riassunto dati

Dimensione campione	54
Minimo	XX.X
Massimo	XX.X
Media	XX.X
Deviazione standard	8.41

Tabella 12 - Caratteristiche distribuzione fase 1 acciai VDV

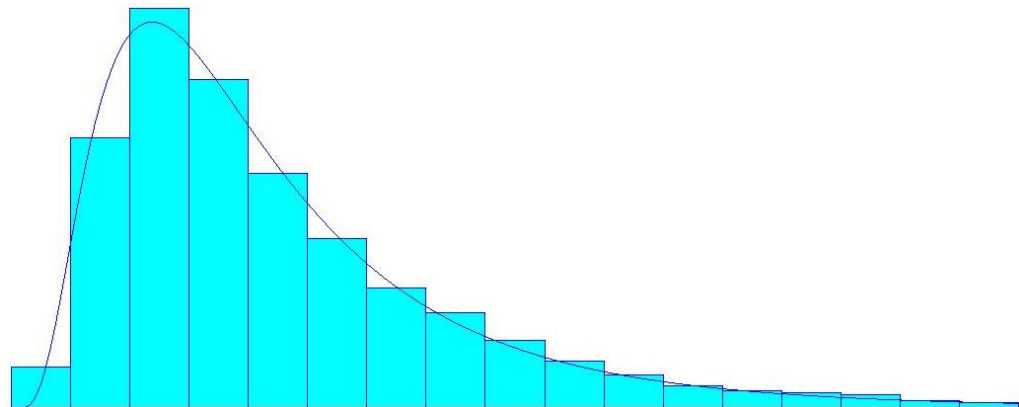
Plot dei dati riferiti alla Fase 1 LF degli acciai VDS



Riassunto distribuzione	
Tipo distribuzione	Beta
Espressione	$XX + 30 * \text{BETA}(1.46, 1.15)$
Errore quadratico medio	0.001968
Test Chi²	
N° intervalli	19
Gradi di libertà	16
Statistica test	13.6
p-value corrispondente	62.4 %
Test Kolmogorov-Smirnov	
Statistica test	0.0317
p-value corrispondente	> 15 %
Riassunto dati	
Dimensione campione	420
Minimo	XX
Massimo	XX.X
Media	XX.X
Deviazione standard	7.84

Tabella 13 - Caratteristiche distribuzione fase 1 acciai VDS

Plot dei dati riferiti alla Fase 2 LF degli acciai VDN



Riassunto distribuzione

Tipo distribuzione	Logonormale
Espressione	XX.X + LOGN(4.57 , 3.29)
Errore quadratico medio	0.000338

Test Chi²

N° intervalli	17
Gradi di libertà	14
Statistica test	18.9
p-value corrispondente	18.3 %

Test Kolmogorov-Smirnov

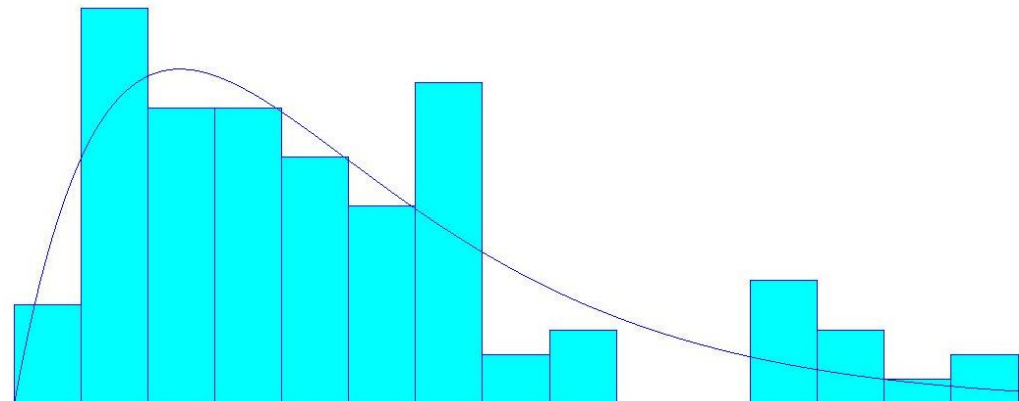
Statistica test	
p-value corrispondente	

Riassunto dati

Dimensione campione	3885
Minimo	XX
Massimo	XX
Media	XX
Deviazione standard	2.96

Tabella 14 - Caratteristiche distribuzione fase 2 acciai VDN

Plot dei dati riferiti alla Fase 2 LF degli acciai VDV



Riassunto distribuzione

Tipo distribuzione	Erlang
Espressione	XX.X + ERLA(2.47 , 2)
Errore quadratico medio	0.012372

Test Chi²

N° intervalli	7
Gradi di libertà	4
Statistica test	4.54
p-value corrispondente	35.4 %

Test Kolmogorov-Smirnov

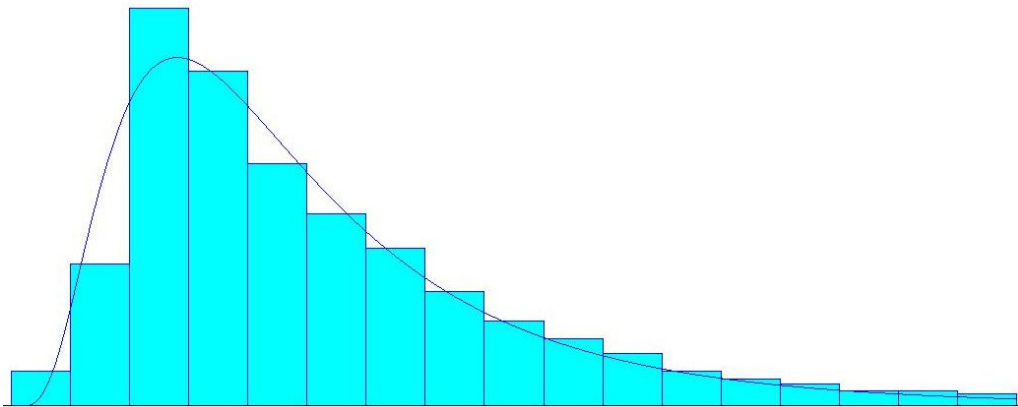
Statistica test	
p-value corrispondente	

Riassunto dati

Dimensione campione	91
Minimo	XX
Massimo	XX
Media	XX.X
Deviazione standard	3.49

Tabella 15 - Caratteristiche distribuzione fase 1 acciai VDV

Plot dei dati riferiti alla Fase 2 LF degli acciai VDS



Riassunto distribuzione

Tipo distribuzione	Logonormale
Espressione	XX.X + LOGN(5.24 , 3.77)
Errore quadratico medio	0.002544

Test Chi²

N° intervalli	13
Gradi di libertà	10
Statistica test	14.9
p-value corrispondente	14.6 %

Test Kolmogorov-Smirnov

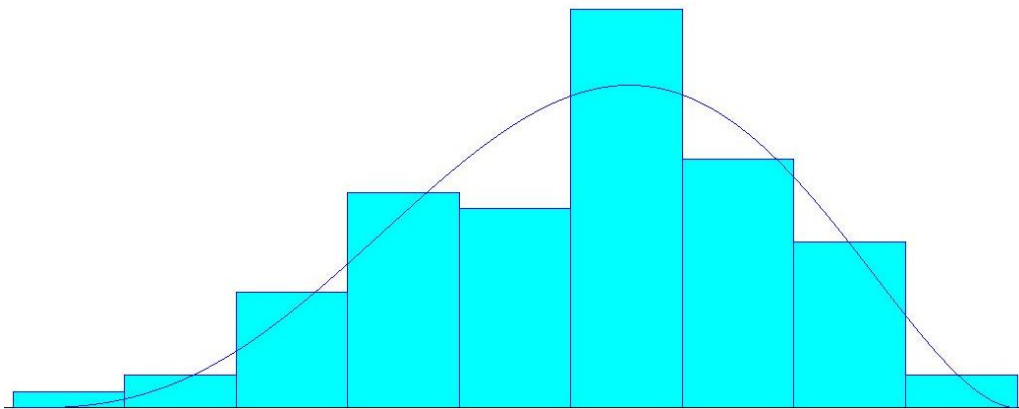
Statistica test	
p-value corrispondente	

Riassunto dati

Dimensione campione	780
Minimo	XX
Massimo	XX.X
Media	XX.X
Deviazione standard	3.22

Tabella 16 – Caratteristiche distribuzione fase 1 acciai VDS

Plot dei dati riferiti al trattamento VD degli acciai VV



Riassunto distribuzione

Tipo distribuzione	Beta
Espressione	$XX + 14 * BETA(4.02, 2.9)$
Errore quadratico medio	0.007344

Test Chi²

N° intervalli	5
Gradi di libertà	2
Statistica test	3.44
p-value corrispondente	19.6 %

Test Kolmogorov-Smirnov

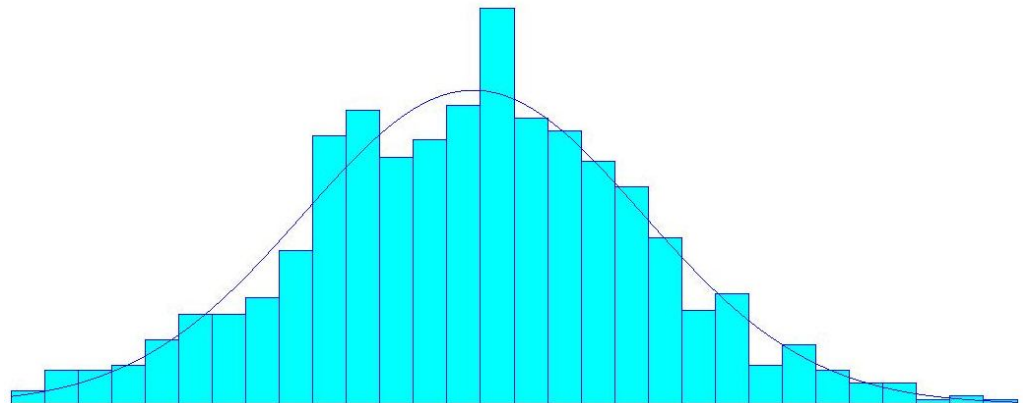
Statistica test	0.0732
p-value corrispondente	> 15 %

Riassunto dati

Dimensione campione	86
Minimo	XX
Massimo	XX.X
Media	XX.X
Deviazione standard	2.49

Tabella 17 - Caratteristiche distribuzione trattamento VD acciai VDV

Plot dei dati riferiti al trattamento VD degli acciai VDS



Riassunto distribuzione

Tipo distribuzione	Normale
Espressione	NORM(XX.X , 3.7)
Errore quadratico medio	0.001319

Test Chi²

N° intervalli	22
Gradi di libertà	19
Statistica test	27.8
p-value corrispondente	8.99 %

Test Kolmogorov-Smirnov

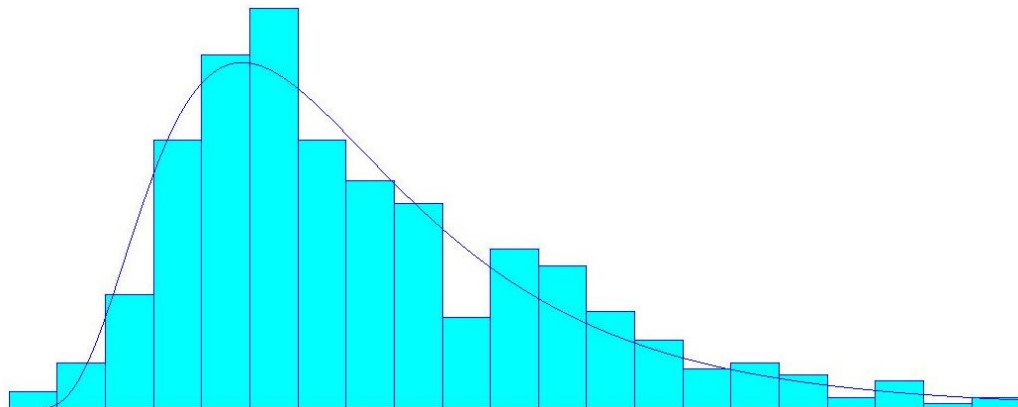
Statistica test	0.0297
p-value corrispondente	> 15 %

Riassunto dati

Dimensione campione	932
Minimo	XX.X
Massimo	XX.X
Media	XX.X
Deviazione standard	3.7

Tabella 18 – Caratteristiche distribuzione trattamento VD acciai VDS

Plot dei dati riferiti ai FLY-TUNDISH di CCo1 e CCo2



Riassunto distribuzione

Tipo distribuzione	Logonormale
Espressione	$X + \text{LOGN}(11.5, 6.71)$
Errore quadratico medio	0.002583

Test Chi²

N° intervalli	14
Gradi di libertà	11
Statistica test	16.5
p-value corrispondente	13.5 %

Test Kolmogorov-Smirnov

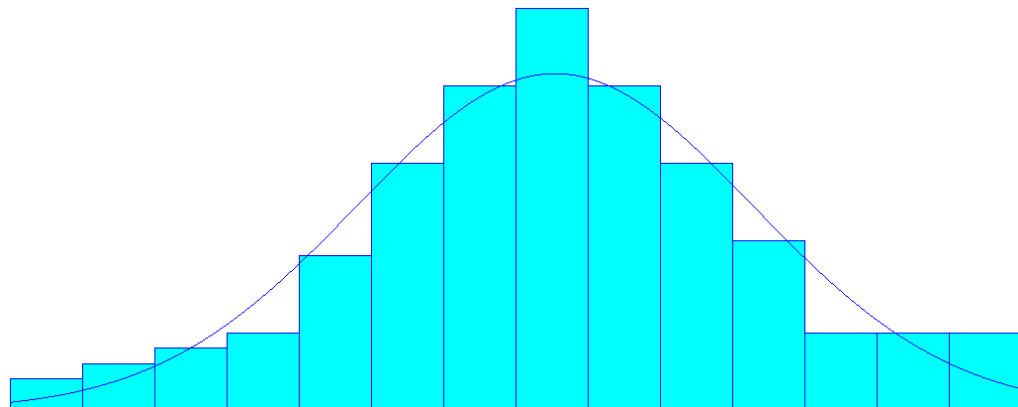
Statistica test	0.0414
p-value corrispondente	> 15 %

Riassunto dati

Dimensione campione	462
Minimo	X.XX
Massimo	XX.X
Media	XX.X
Deviazione standard	5.83

Tabella 19 - Caratteristiche distribuzione durata fly-tundish

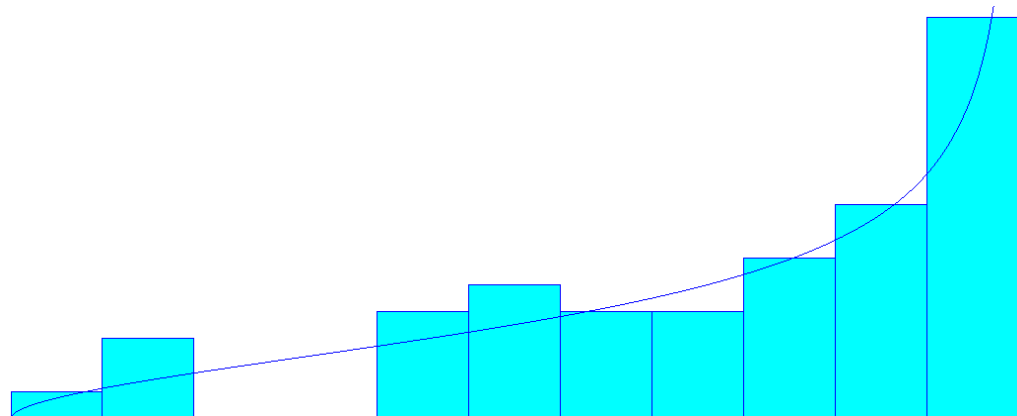
Plot dei dati riferiti agli spostamenti su binario



Riassunto distribuzione	
Tipo distribuzione	Normale
Espressione	NORM(XX , 2.74)
Errore quadratico medio	0.002224
Test Chi²	
N° intervalli	9
Gradi di libertà	6
Statistica test	1.77
p-value corrispondente	> 75 %
Test Kolmogorov-Smirnov	
Statistica test	
p-value corrispondente	
Riassunto dati	
Dimensione campione	150
Minimo	XX
Massimo	XX
Media	XX
Deviazione standard	2.74

Tabella 20 – Caratteristiche distribuzione spostamenti su binario

Plot dei dati riferiti a carico e transitorio avvio GRU



Riassunto distribuzione

Tipo distribuzione	Beta
Espressione	$XX + 11 * BETA (1.54 , 0.626)$
Errore quadratico medio	0.006933

Test Chi²

N° intervalli	6
Gradi di libertà	3
Statistica test	2.15
p-value corrispondente	54.8 %

Test Kolmogorov-Smirnov

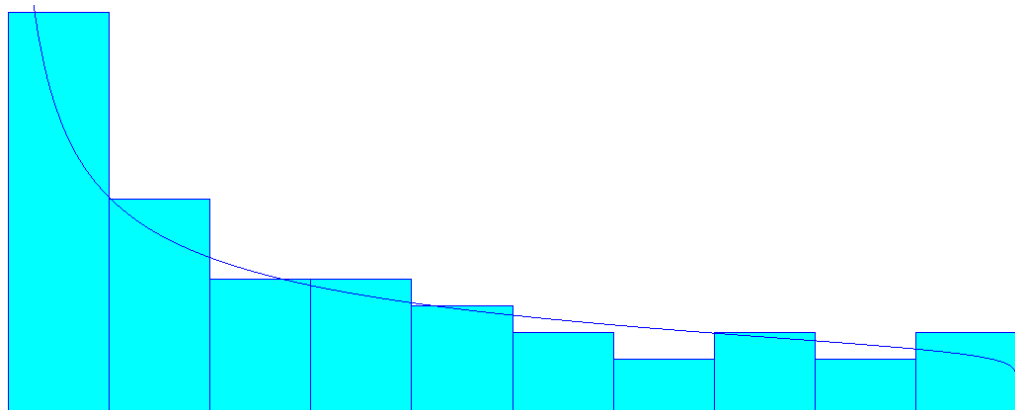
Statistica test	
p-value corrispondente	

Riassunto dati

Dimensione campione	50
Minimo	XX
Massimo	XX
Media	XX.X
Deviazione standard	2.8

Tabella 21 - Caratteristiche distribuzione carico e transitorio avvio GRU

Plot dei dati riferiti a transitorio arresto e scarico GRU



Riassunto distribuzione

Tipo distribuzione	Beta
Espressione	$XX.X + 10 * BETA (0.542 , 1.1)$
Errore quadratico medio	0.002622

Test Chi²

N° intervalli	6
Gradi di libertà	3
Statistica test	0.865
p-value corrispondente	> 75 %

Test Kolmogorov-Smirnov

Statistica test	
p-value corrispondente	

Riassunto dati

Dimensione campione	50
Minimo	XX
Massimo	XX
Media	XX.X
Deviazione standard	2.89

Tabella 22 - Caratteristiche distribuzione transitorio arresto e scarico GRU

4.3 Flusso tecnologico di produzione

Le tabelle seguenti riportano schematicamente il flusso di produzione di una colata, mettendo in evidenza le macro attività che compongono ogni singola fase.

Flusso acciai senza trattamento di vuoto

Fase	Attività correlate
FORNO PRONTO ↓ SPILLATA	1. richiedi risorse (siviera – carro colata – LF libera) 2. attendi risorse disponibili 3. occupa risorse 4. sposta a zona colata 5. esegui spillata 6. richiesta risorse (carro ponte) 7. sposta a zona carico/scarico
SPOSTA A LF	1. occupa risorse 2. rilascia carro colata 3. sposta a LF libera 4. posiziona su morello 5. rilascia carro ponte 6. sposta sotto LF
LF	esegui 1 ^a e 2 ^a fase di lavorazione
ACCIAIO PRONTO	1. richiedi risorse (carro ponte – CCO di destinazione) 2. attendi risorse disponibili 3. occupa risorse 4. sposta a zona carico/scarico 5. rilascia LF 6. sposta a CCO di destinazione 7. rilascia carro ponte

PER CCO	8. posiziona in zona colata
CCO	esegui colata
CCO FINITA	<ol style="list-style-type: none"> 1. sposta a zona carico/scarico 2. richiedi risorse (carro ponte – postazione ripristino) 3. attendi risorse disponibili 4. occupa risorse 5. rilascia CCO utilizzata 6. preleva siviera 7. svuota siviera 8. posiziona siviera su postazione ripristino 9. rilascia carro ponte
RIPRISTINO SIVIERA	<ol style="list-style-type: none"> 1. controlla ciclo utile siviera 2. ripristina secondo programma di manutenzione 3. richiedi risorse (buffer siviere pronte ad uso – carro ponte) 4. attendi risorse disponibili 5. occupa risorse 6. rilascia postazione di ripristino 7. preleva siviera 8. posiziona siviera in buffer libero 9. rilascia carro ponte

Tabella 23 – Descrizione flusso processo tecnologico acciai VDN

Flusso acciai con trattamento di vuoto

Fase	Attività correlate
<p>FORNO PRONTO ↓ SPILLATA</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. richiedi risorse (siviera – carro colata – LF libera) 2. attendi risorse disponibili 3. occupa risorse 4. sposta a zona colata 5. esegui spillata 6. richiesta risorse (carro ponte) 7. sposta a zona carico/scarico
<p>SPOSTA A LF</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. attendi risorse disponibili 2. occupa risorse 3. rilascia carro colata 4. sposta a LF libera 5. posiziona su morello 6. rilascia carro ponte 7. sposta sotto LF
<p>LF</p>	<p>esegui 1^a fase di lavorazione</p>
<p>VUOTO</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. richiedi risorsa (VD) 2. occupa risorsa 3. sposta sotto VD 4. rilascia LF1 5. esegui trattamento secondo specifica
<p>LF</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. richiedi risorsa (LF1) 2. occupa risorsa 3. sposta sotto LF1 4. rilascia VD 5. esegui 2^a fase di lavorazione
	<ol style="list-style-type: none"> 1. richiedi risorse (carro ponte –

ACCIAIO	CCO di destinazione)
PRONTO	2. attendi risorse disponibili
PER CCO	3. occupa risorse
	4. sposta a zona carico/scarico
	5. rilascia LF
	6. sposta a CCO di destinazione
	7. rilascia carro ponte
	8. posiziona in zona colata
CCO	esegui colata
CCO FINITA	1. sposta a zona carico/scarico
	2. richiedi risorse (carro ponte – postazione ripristino)
	3. attendi risorse disponibili
	4. occupa risorse
	5. rilascia CCO utilizzata
	6. preleva siviera
	7. svuota siviera
	8. posiziona siviera su postazione ripristino
	9. rilascia carro ponte
RIPRISTINO SIVIERA	1. controlla ciclo utile siviera
	2. ripristina secondo programma di manutenzione
	3. richiedi risorse (buffer siviere pronte ad uso – carro ponte)
	4. attendi risorse disponibili
	5. occupa risorse
	6. rilascia postazione di ripristino
	7. preleva siviera
	8. posiziona siviera in buffer libero
	9. rilascia carro ponte

Tabella 24 – Descrizione flusso processo tecnologico acciai VDV e VDS

4.5 Modellazione in Arena

Dinamico, discreto e stocastico/deterministico è la classificazione dei modelli realizzati.

I modelli si basano su un file excel, da cui leggono i dati delle colate riferiti a codice acciaio, famiglia tecnologica, calibro, tipo vuoto, *intermixabilità*⁶ e, di conseguenza, l'ordine con cui le colate vengono processate dal sistema. La struttura logica dei modelli è stata suddivisa in sottomodelli per rendere più ordinata la visualizzazione e per non perdersi nei meandri di una moltitudine di moduli durante la fase di setup.

La struttura base è comune ai tre modelli e nelle *Figure 21* e *22* è evidenziata dai riquadri in rosso.



Figura 21 - Suddivisione in sottomodelli layout attuale e HP1



Figura 22 - Suddivisione in sottomodelli HP2

⁶ Riferita a due acciai del medesimo calibro, prodotti l'uno susseguentemente all'altro dalla medesima macchina di colata continua.

- Avvia Modello** ⇒ viene avviato il sistema tramite un modulo che *crea* la prima e unica entità e vengono inizializzate variabili e risorse che verranno utilizzate durante la simulazione



Figura 23 – Sottomodello “Avvia modello”

- Lettura dati colate** ⇒ l’entità creata entra nel sottomodello e attraversa un modulo in cui le viene attribuita la prima serie di dati letti da file; successivamente il sistema controlla il numero di WIP (se uguale a 3 per il layout attuale e a 4 per HP1 e HP2, si attende la sua diminuzione); infine l’entità viene rilasciata nel sistema a seconda del tipo di vuoto che le è appena stato attribuito da file (ogni tipo di VD ha una distribuzione statistica dei tempi di tap to tap). Quindi, dopo essere stata clonata, riprende il ciclo a partire dalla lettura da file. All’entità clonata invece, prima che passi al sottomodello successivo, viene attribuita la famiglia tecnologica

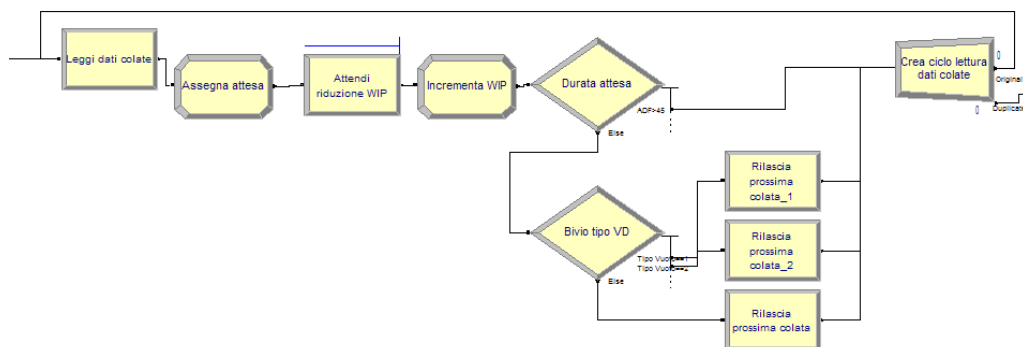


Figura 24 - Sottomodello “Lettura dati colate”

- **CCO1 e CCO2** ⇒ questi sottomodelli gestiscono le attività principali della fase di colata continua (n° colata, n° sequenza, n° panierina, intermix, fly-tundish, ripristino, cambio calibro); i dati riferiti a inizio e fine colata, inoltre, vengono scritti su un file excel in modo che, terminata la simulazione, si possa eseguire un'analisi che permetta di individuare eventuali perdite di continuo, rallentamenti di velocità di colata per garantirlo, tempistiche di fly-tundish, ripristino e cambio calibro. Ultimata la scrittura su file, le entità attendono la disponibilità di una delle due stazioni di ripristino per poi passare al sottomodello

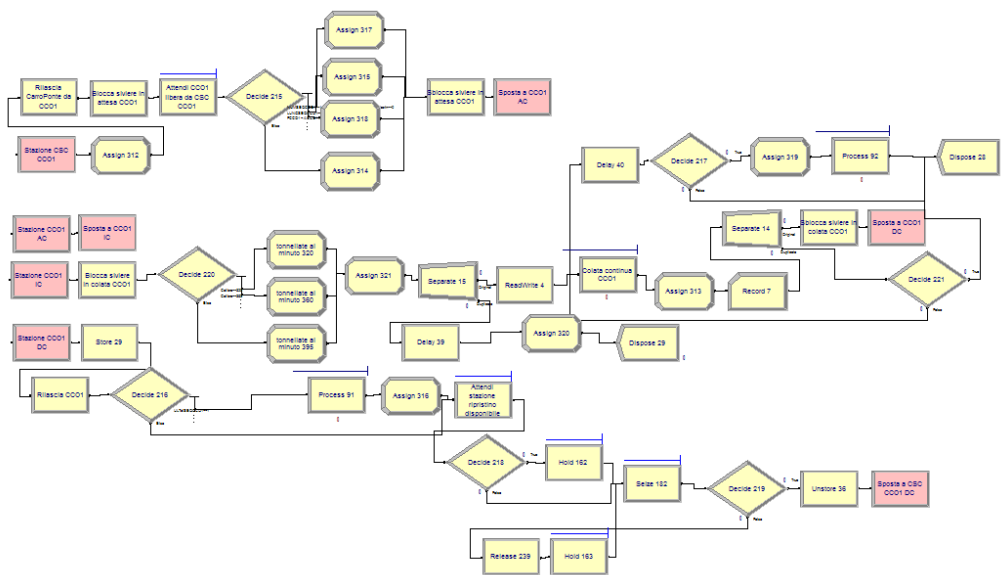


Figura 25 - Sottomodelli "CCO1" e "CCO2"

- **Scorifica siviere** ⇒ terminata la colata, le siviere vengono portate tramite GRU nella zona di scorifica, dove vengono svuotate dal residuo di acciaio liquido che è quasi completamente scoria; ultimata la scorifica, si passa al sottomodello

successivo in cui le siviere vengono riparate secondo un ciclo manutentivo specifico

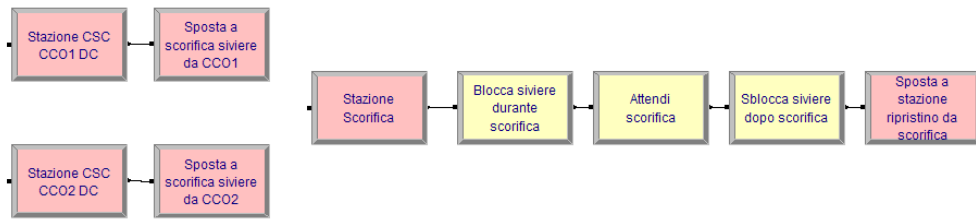


Figura 26 - Sottomodello "Scorifica siviere"

- Ripristino siviere** ⇒ come detto, a seconda di uno specifico ciclo manutentivo, le entità che attraversano questa parte del modello vengono riparate o ripristinate (in questo caso il ciclo manutentivo della specifica siviera viene azzerato) e poi, dopo aver atteso una postazione di riscaldamento libera, passano al conclusivo sottomodello

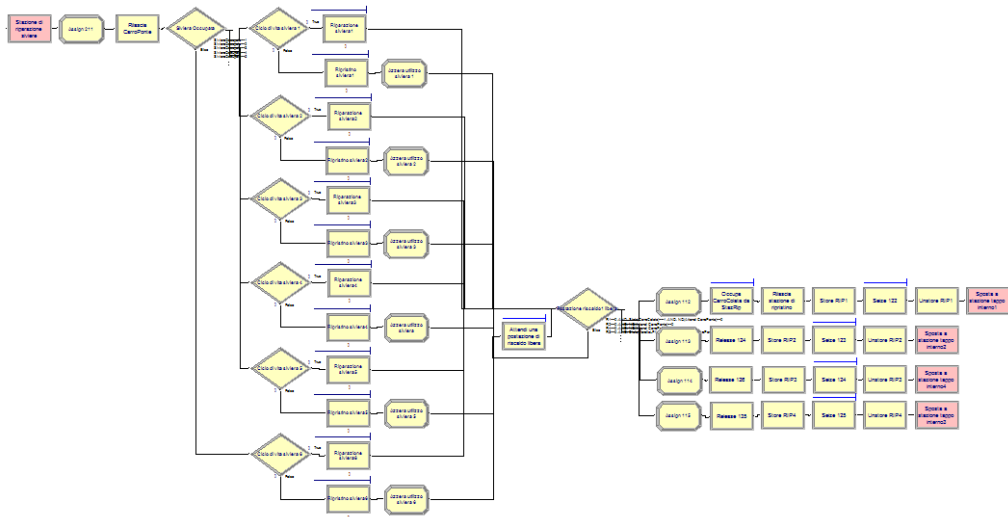


Figura 27 - Ripristino siviere

- Riposizionamento nei buffers** ⇒ le entità arrivano in questo sottomodello e occupano le postazioni di buffer/riscaldamento libere, segnalando al sistema l'identità della siviera che hanno

“consegnato”, dopodiché escono dal sistema tramite un modulo che le “uccide” e ne memorizza i dati statistici

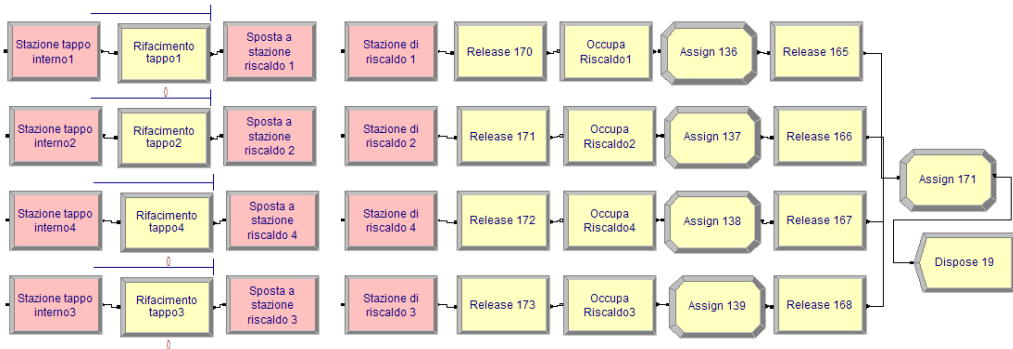


Figura 28 - Riposizionamento nei buffers

4.5.1 Stato di fatto

La modellazione è iniziata con lo stato di fatto dell'impianto. I tre modelli realizzati differiscono l'uno dall'altro in quei sottomodelli che gestiscono la zona di trattamento secondario:

- **Spilla e Instrada** ⇒ qui si gestisce la fase di spillata e l'instradamento verso la LF libera. E' la fase di indirizzamento che differisce da modello a modello, mentre la fase di spillata rimane comune per tutti i sistemi. Prima della spillata, si sceglie quale postazione di riscaldamento liberare (**riscaldato1**, se una siviera occupa il carro di colata; **riscaldato3**, se il carro di colata è libero e una siviera occupa in fase di riscaldamento il morello adibito a LF1; **riscaldato2/4**, se sono occupate da una siviera in fase di riscaldamento e se le postazioni di riscaldamento 1 e 2 sono libere). Eseguita la spillata, il sistema assegna a ogni colata tutti gli attributi necessari e la indirizza, tramite una rete di cicli di controllo, alla LF in grado di servirla prima.

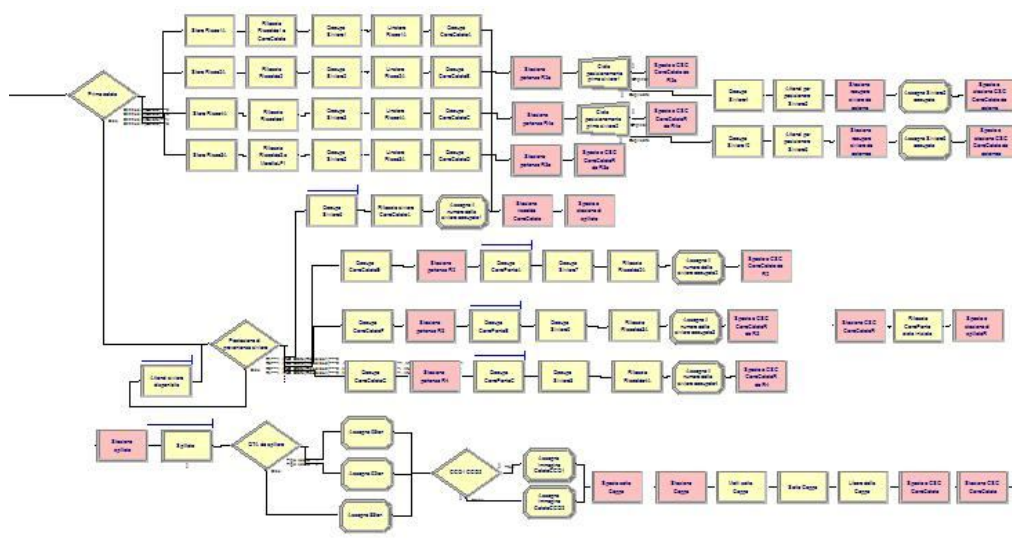


Figura 29 - Sottomodello "Spilla e instrada" - Spilla

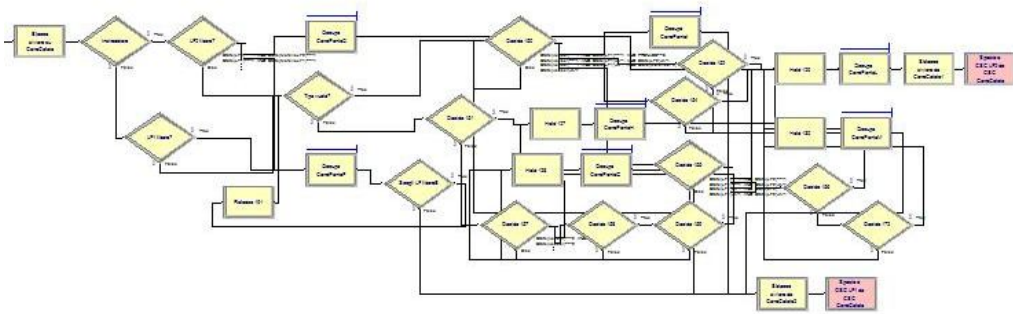


Figura 30 - Sottomodello "Spilla e instrada" - *Instrada*

- **Lavorazioni LF1** ⇒ questo sottomodello si occupa delle lavorazioni di LF1 e VD (precedenze, durata delle lavorazioni, spostamenti su binario tra stazioni, attesa CCo di destinazione e invio alla macchina di colata). Ogni colata, in relazione agli attributi ricevuti dopo la spillata, viene trattata *ad hoc*.

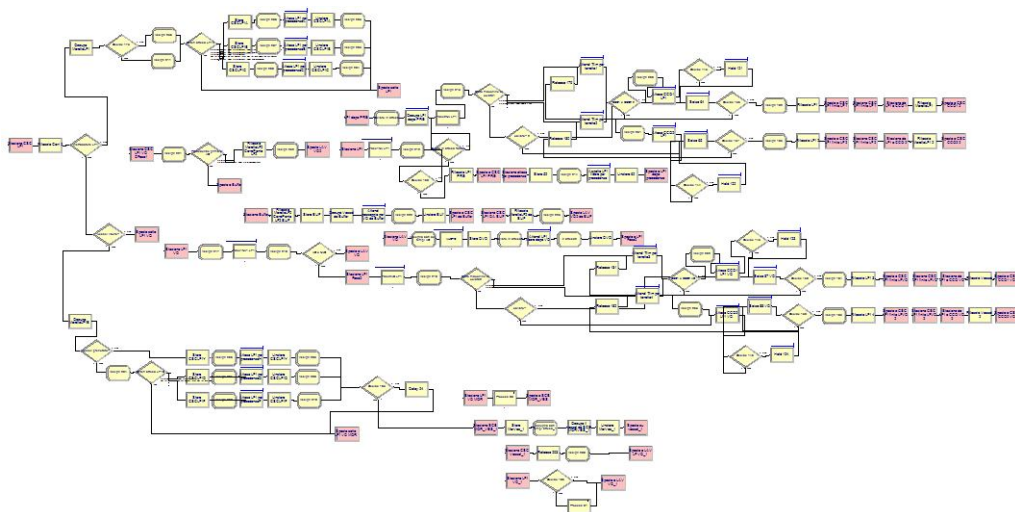


Figura 31 - Sottomodello "Lavorazioni LF1"

- **Lavorazioni LF2** ⇒ questo sottomodello si occupa delle lavorazioni di LF2 (precedenze, durate delle lavorazioni, spostamenti su binario, attesa CCo di destinazione e invio alla macchina di colata). Non essendo possibile inoltre eseguire trattamento di vuoto, si gestisce l'attesa della disponibilità

dell'impianto VD e l'invio della colata al punto di scarico/carico del vessel e quindi l'entità torna a essere gestita dal sottomodulo *Lavorazioni LF1*. Anche in questo caso, come spiegato in precedenza, ogni colata viene trattata in relazione agli attributi ricevuti dopo la spillata.

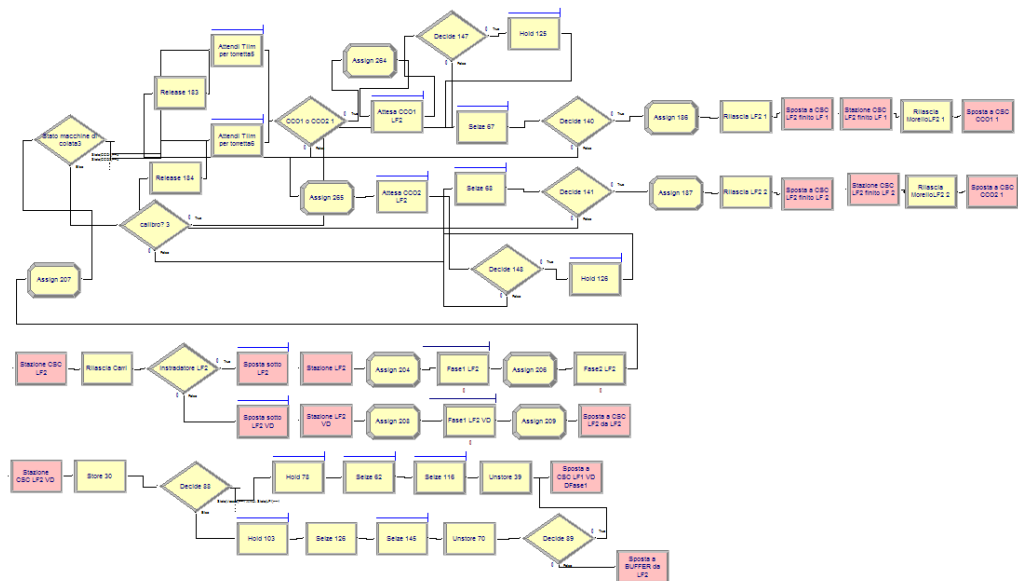


Figura 32 - Sottomodulo "Lavorazioni LF2"

Illustrate tutte le componenti del modello, a titolo esemplificativo, si riporta in *Figura 33* una fotografia di un istante a caso della simulazione, in cui vengono messi in *luce*⁷:

- ❑ siviera in colata su CCo1
- ❑ siviera in viaggio verso torretta CCo1
- ❑ siviera durante fase di spillata
- ❑ siviera in riscaldamento in postazione Riscaldato2
- ❑ siviera destinata a CCo2 in trattamento sotto LF1
- ❑ siviera destinata a CCo1 in trattamento sotto LF2

⁷ Partendo da destra.

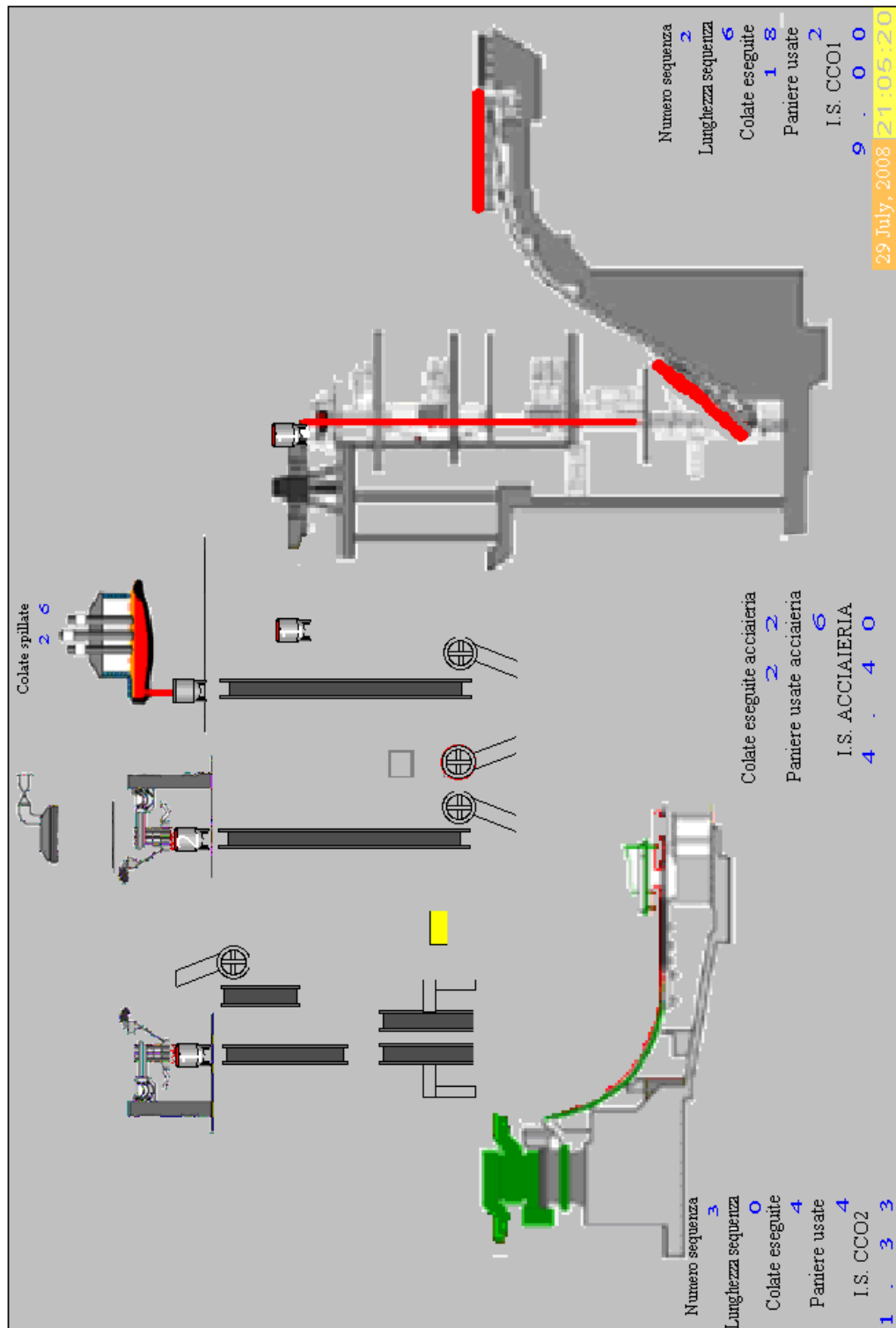


Figura 33 - Animazione del layout attuale durante la simulazione

4.5.2 HP1

□ **Spilla e Instrada** ⇒ come già accennato la fase di spillata è identica per tutti i modelli, mentre a essere differente è l'indirizzamento. Prima della spillata, si sceglie quale postazione di riscaldamento liberare (**riscaldamento1**, se una siviera occupa il carro di colata; **riscaldamento3**, se il carro di colata è libero e una siviera occupa in fase di riscaldamento il morello adibito a LF1; **riscaldamento2/4**, se sono occupate da una siviera in fase di riscaldamento e se le postazioni di riscaldamento 1 e 2 sono libere). Eseguita la spillata, il sistema assegna a ogni colata tutti gli attributi necessari e, a questo punto, tramite una complessa rete di cicli di controllo, la colata viene indirizzata alla LF in grado di servirla prima.

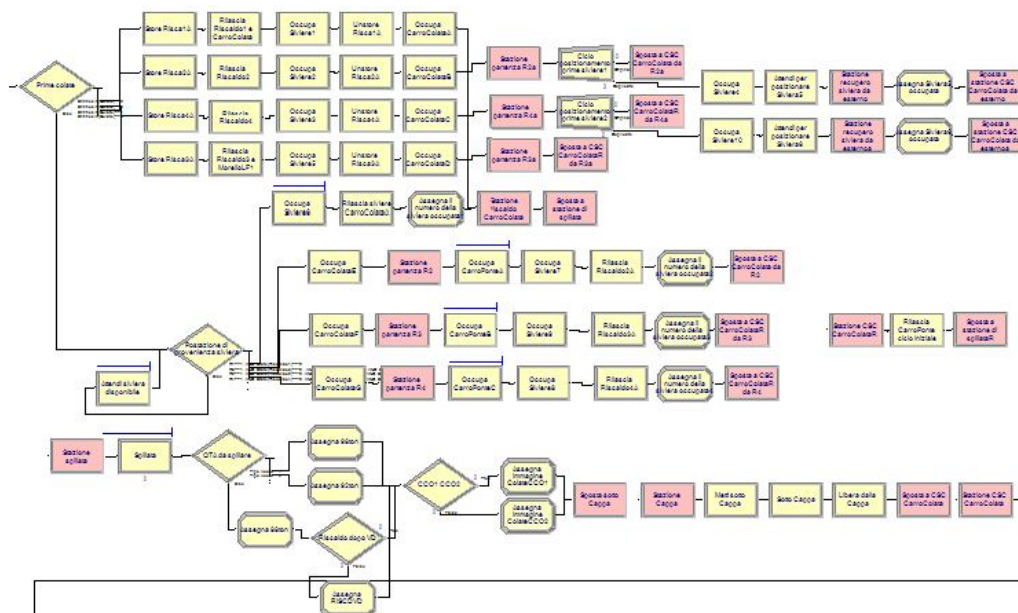


Figura 34 - Sottomodello "Spilla e instrada" - Spilla

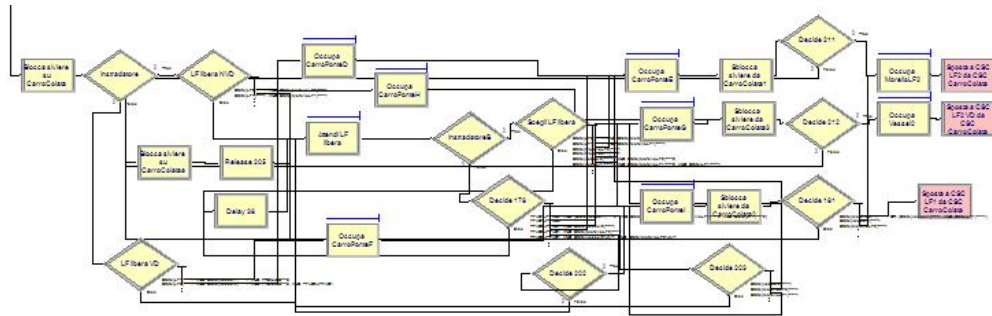


Figura 35 - Sottomodello "Spilla e instrada" - *Instrada*

- ▣ **Lavorazioni LF1** ⇒ questo sottomodello si occupa delle lavorazioni di LF1 e VD1 (precedenze, durata delle lavorazioni, spostamenti su binario tra stazioni, attesa CCo di destinazione e invio alla macchina di colata). In aggiunta rispetto al modello del layout attuale, c'è la possibilità di scegliere quale impianto di vuoto utilizzare. Nel caso per esempio di una colata che necessiti trattamento VD e che abbia eseguito la Fase1 sul morello dedicato a LF1, il sistema calcola quale vessel sarà disponibile prima e indirizza la colata al vessel in grado di servirla più tempestivamente.

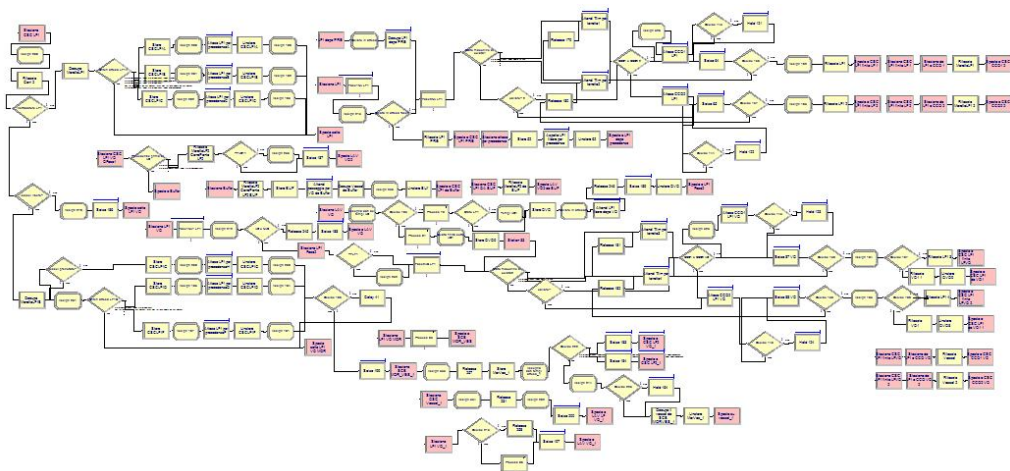


Figura 36 - Sottomodello "Lavorazioni LF1"

- Lavorazioni LF2** ⇒ questo sottomodello si occupa delle lavorazioni di LF2, VD2 e TRIM (precedenze, durata delle lavorazioni, spostamenti su binario tra stazioni, attesa CCo di destinazione e invio alla macchina di colata). Come per il sottomodello *Lavorazioni LF1*, c'è la possibilità di scegliere quale impianto di vuoto utilizzare. Nel caso in cui una colata necessiti trattamento VD e abbia eseguito la Fase1 sul morello dedicato a LF2, il sistema calcolerà quale vessel sarà disponibile prima e indirizzerà la colata al vessel in grado di servirla più tempestivamente.

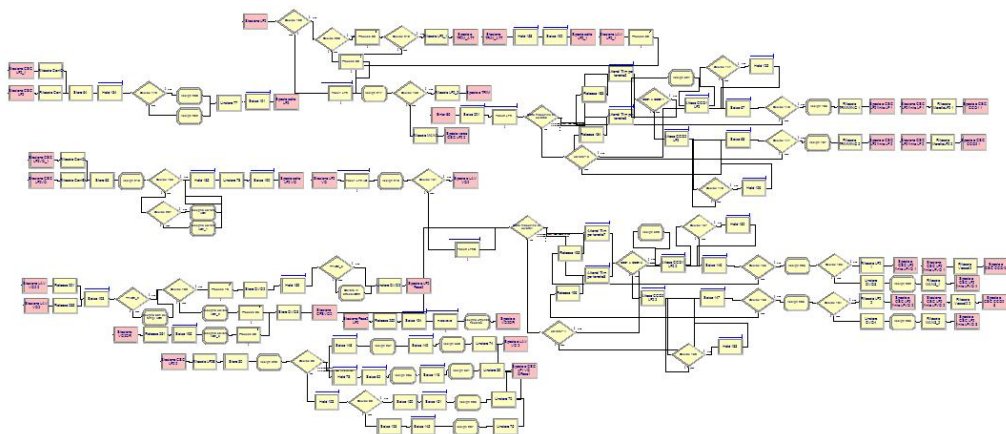


Figura 37 - Sottomodello "Lavorazioni LF2"

In *Figura 38* si riporta una fotografia di un istante di una simulazione in cui vengono messi in *luce*⁸:

- siviera in colata su CCo1
- siviera durante fase di spillata
- siviera destinata a CCo1 in trattamento sotto LF1
- siviera in viaggio verso torretta CCo1
- siviera in riscaldamento in postazione Riscaldo4
- siviera destinata a CCo2 in trattamento sotto LF2

⁸ Partendo da destra.

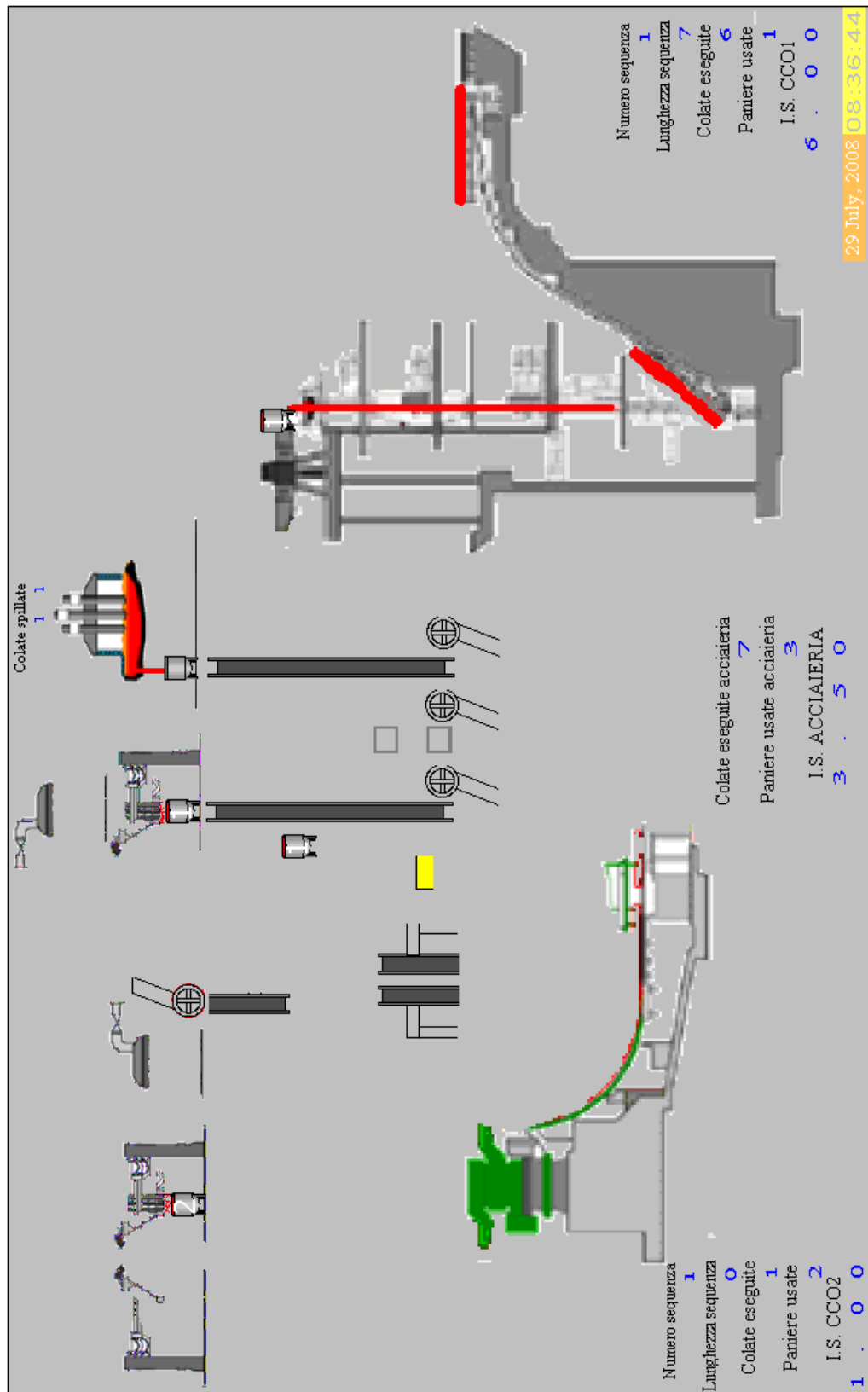


Figura 38 - Animazione della HP1 durante la simulazione

4.5.3 HP2

□ **Spilla e Instrada** ⇒ come detto in precedenza, la fase di spillata è identica per tutti i modelli, mentre a essere differente è l'indirizzamento. Prima della spillata, si sceglie quale postazione di riscaldamento liberare (**riscaldamento1**, se una siviera occupa il carro di colata; **riscaldamento3**, se il carro di colata è libero e una siviera occupa in fase di riscaldamento il morello adibito a LF1; **riscaldamento2/4**, se sono occupate da una siviera in fase di riscaldamento e se le postazioni di riscaldamento 1 e 2 sono libere). Eseguita la spillata, il sistema assegna a ogni colata tutti gli attributi necessari e quindi, tramite una rete di cicli di controllo, la colata viene indirizzata alla LF in grado di servirla prima. In *Figura 40* risulta evidente la minor complessità dell'indirizzamento. Questo è dovuto al fatto che i due forni di affinamento sono in postazione indipendente.

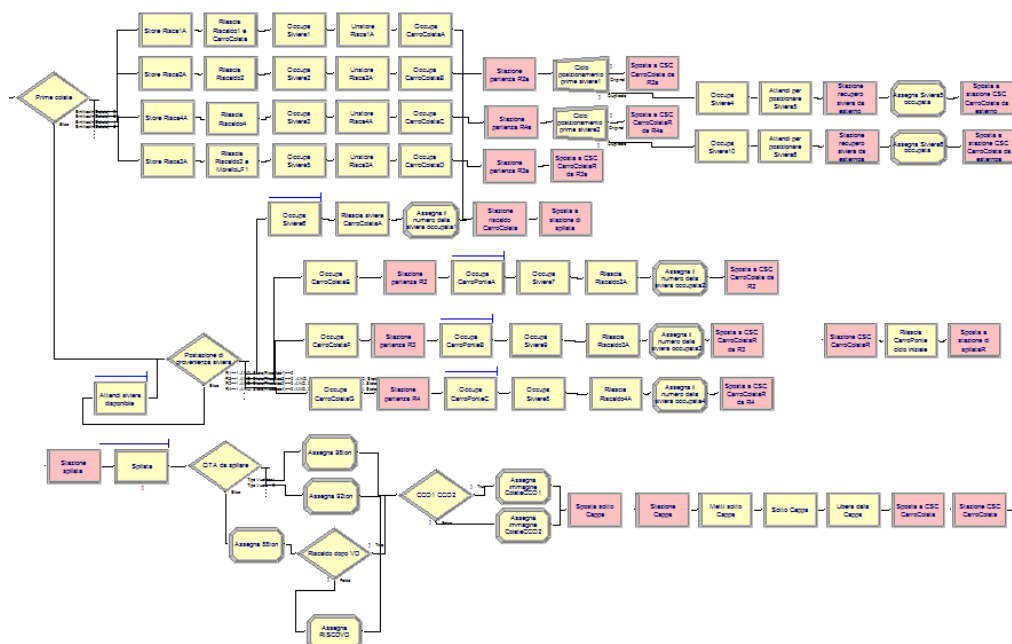


Figura 39 - Sottomodello "Spilla e Instrada" - Spilla

□ **Lavorazioni LF2** ⇒ questo sottomodello si occupa delle lavorazioni di LF2 (precedenze, durata delle lavorazioni, spostamenti su binario, attesa VD libero, invio a postazione vuoto, attesa TRIM libero e invio a postazione trimming ed eventuale attesa CCo di destinazione e invio alla macchina di colata). Qui si gestiscono inoltre il rientro delle colate che necessitano riscaldamento dopo vuoto e i movimenti verso le stazioni di TRIM e STALLO delle siviere che devono liberare la LF per il rientro della colata da riscaldare.

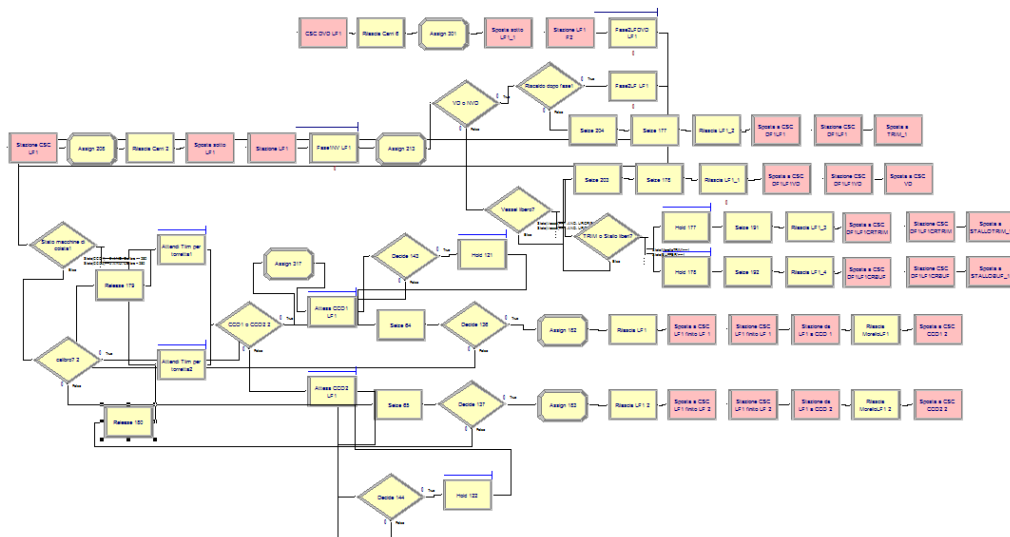


Figura 42 - Sottomodello "Lavorazioni LF2"

□ **Vuoto** ⇒ questo sottomodello si occupa delle lavorazioni di VD (durata dei trattamenti, spostamenti su binario, attesa TRIM libero e invio a postazione trimming oppure attesa LF libera e invio a postazione di affinamento per quelle colate che necessitano di riscaldamento). A questo proposito, terminato il trattamento di vuoto, viene inviato un allarme che *spegne* il forno e *invita* una delle due LF a liberarsi per accogliere la colata da riscaldare.

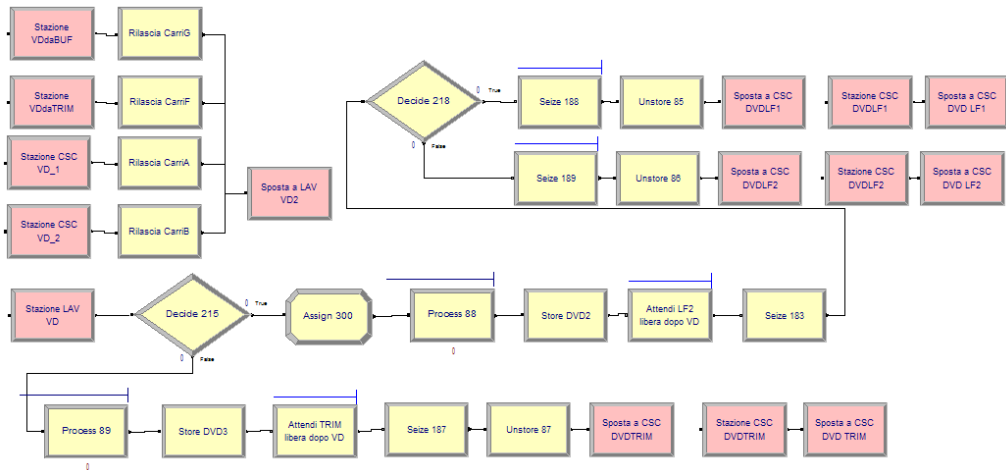


Figura 43 - Sottomodello "Vuoto"

- TRIM** ⇒ questo sottomodello si occupa delle lavorazioni di TRIM (durata delle lavorazioni, spostamenti su binario, attesa CCo di destinazione e invio alla macchina di colata). Il sottomodello prevede inoltre di accogliere le colate in arrivo dalle LF fungendo da buffer, in attesa che il VD sia libero, per poi inviarle alla postazione vuoto.

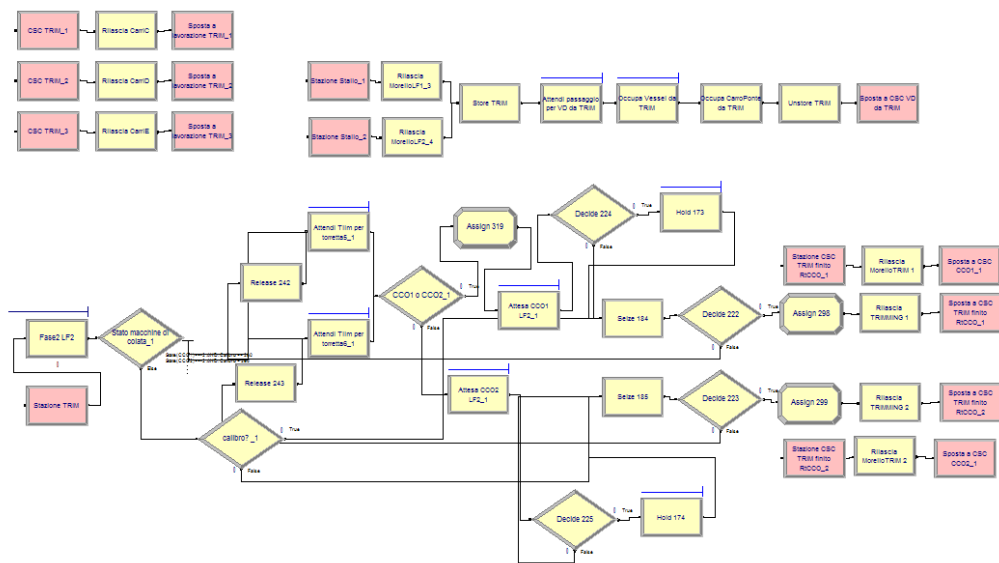


Figura 44 - Sottomodello "TRIM"

- **STALLO** ⇒ le entità raggiungono questo sottomodulo solo quando una colata presente sotto uno dei ladle furnace debba liberare la macchina per far posto a una colata che deve essere riscaldata e nello stesso tempo la postazione di trimming sia ancora occupata. Qui si gestisce l'arrivo delle entità da una delle LF, si attende il liberarsi dell'impianto di vuoto o di trimming e, in ultimo, si inviano le colate alla postazione di destinazione.

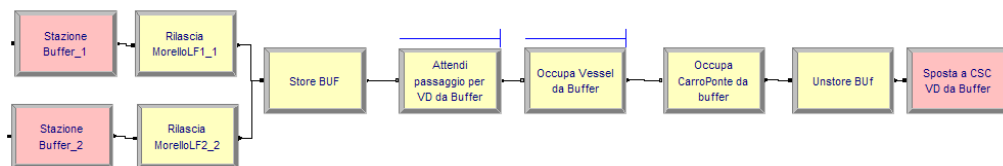


Figura 45 - Sottomodulo"STALLO"

Si riporta in *Figura 46* una fotografia di un istante di una simulazione in cui vengono messi in *luce*⁹:

- siviera in colata su CCo1
- siviera durante fase di spillata
- siviera in arrivo a riscaldamento in postazione Riscaldo2
- siviera destinata a CCo1 in trattamento sotto LF1
- siviera in colata su CCo2
- siviera destinata a CCo1 in trattamento sotto TRIM

⁹ Partendo da destra.

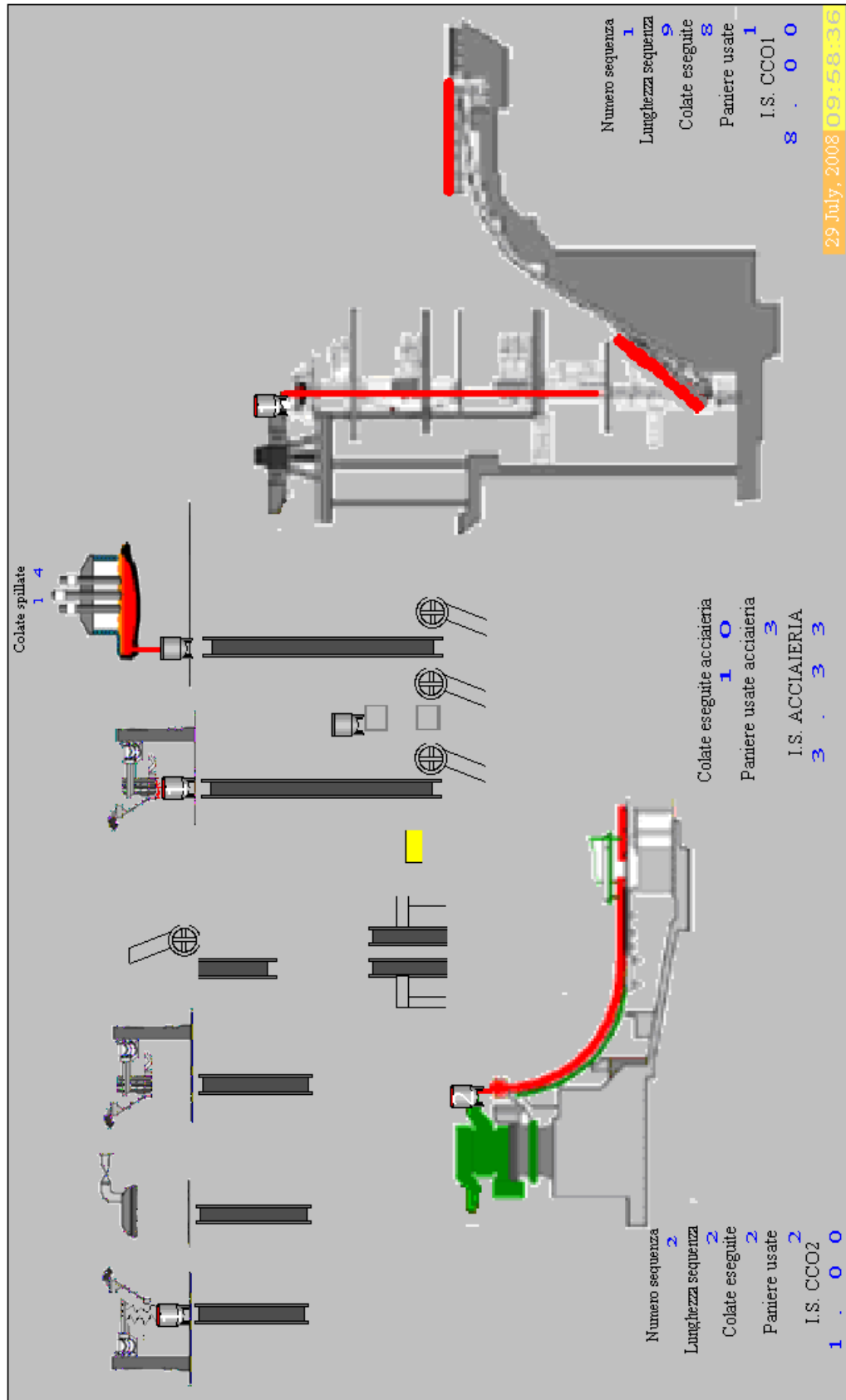


Figura 46 - Animazione della HP2 durante la simulazione

4.6 Verifica modelli

Questa fase ha rivestito un ruolo fondamentale in tutta la realizzazione dei modelli. Oltre alla verifica è stata effettuata una vera e propria *messa a punto*, in modo che i sistemi non compissero errori e a livello di vincoli di produzione si avvicinassero il più possibile alla realtà. Realizzato ogni modello, quest'ultimo veniva sottoposto a un periodo di prova. Durante la simulazione si osservava attentamente l'animazione per individuare eventuali errori.

Si è partiti con la verifica del modello del layout attuale, il primo a essere realizzato e quello che ha richiesto il maggior impegno per essere regolato a dovere. Inizialmente è stato utilizzato un orizzonte temporale giornaliero, per avere conferma che il numero medio di colate prodotte fosse confrontabile con quello reale e preferibilmente superiore. A questo punto si è cercato di variare il più possibile gli input del modello, in modo da testare la più ampia possibile varietà di condizioni d'impianto. Questo approccio ha fornito dati importanti, soprattutto riguardo all'utilizzo della gru. Spesso il modello si bloccava poiché il carro ponte veniva richiesto contemporaneamente da più entità. Oppure, non veniva rispettato un ordine d'impiego coerente con le postazioni disponibili: ci si trovava per esempio ad avere una colata che occupava la gru, ma non era possibile poi effettuare lo spostamento poiché la stazione di destinazione era già occupata. Per risolvere questo problema, si è passati alla gestione a coda unica del carro ponte, attribuendo la graduatoria di utilizzo in base alle fasi di produzione già portate a termine. Per

maggior sicurezza, prima dei moduli di selezione della gru, il sistema è stato dotato di una serie di controlli preventivi sul suo stato in generale e su quello della stazione di destinazione.

Ottenuto un buon riscontro su base giornaliera, si è passati all'orizzonte settimanale che poi sarebbe servito per le simulazioni. A questo punto è emersa qualche difficoltà nella gestione delle precedenze tra LF1 e VD e il rientro delle colate che dovevano sottoporsi a trattamento di vuoto da LF2; in particolare, i maggiori problemi riguardavano gli spostamenti di morello e vessel che, come anticipato in precedenza, in molti casi devono avvenire quasi simultaneamente. Queste criticità sono state risolte inserendo una serie di controlli preventivi, sullo stato della stazione di destinazione e del sistema in generale, come è stato effettuato per la gru, e aggiungendo moduli che inviavano segnali al modello in modo da ritardare o anticipare alcuni spostamenti per consentirne altri che avevano la precedenza. Il modello è stato dotato infine della possibilità di scrivere su file i dati relativi alla produzione di CCo1 e CCo2, permettendo di avere la conferma non solo visiva che il modello rispettava i vincoli di produzione (ordine di colata, intermixabilità, velocità di colata, durata di fly-tundish, dei ripristini e dei cambi di calibro).

Una volta realizzato il modello relativo alla prima ipotesi di modifica d'impianto, si è passati alla sua messa a punto e verifica. L'esperienza accumulata con l'analisi del primo modello e il fatto che la struttura base fosse comune hanno molto facilitato il compito. Maggiori problemi sono emersi dalla gestione del trattamento

secondario. LF2, servita da due carri e collegata a TRIM e VD2 tramite due distinti carri, ha richiesto particolare attenzione per la sincronizzazione degli spostamenti, al fine di evitare sovrapposizioni di entità o attese inutili. Anche in questo caso, come per il primo modello, è stata inserita una serie di controlli preventivi sullo stato della stazione di destinazione e del sistema in generale e sono stati aggiunti moduli che inviavano segnali al modello in modo da ritardare o anticipare alcuni spostamenti per consentirne altri che avevano la precedenza. Anche questo modello è stato infine dotato della possibilità di scrivere su file i dati relativi alla produzione di CCo1 e CCo2, permettendo di avere la conferma del rispetto dei vincoli di produzione (ordine di colata, intermixabilità, velocità di colata, durata di fly-tundish, dei ripristini e dei cambi calibro).

Il modello della seconda ipotesi di modifica d'impianto è stato l'ultimo a essere realizzato, messo a punto e verificato. Durante la fase di regolazione si sono presentati problemi nella gestione delle colate che, dopo aver effettuato trattamento di vuoto, per essere riscaldate, dovevano tornare sotto a una delle LF. Particolarmente impegnativo è stato organizzare gli spostamenti necessari con le dovute precedenza. Anche questo modello come gli altri è stato dotato della possibilità di scrivere su file i dati relativi alla produzione di CCo1 e CCo2. Analizzando i dati forniti dal file ottenuto era emerso, contrariamente a quanto atteso, che il trattamento di riscaldamento post vuoto aveva un impatto minimo sulla produzione. Ricercandone le cause è risultato che il problema poteva derivare dall'istante in cui il sistema rilevava la presenza di una colata con

riscaldamento post vuoto. Inizialmente, infatti, un suo errato posizionamento nel modello, faceva sì che quest'ultimo si predisponesse a trattare questa casistica rendendo influenti le ripercussioni sulla produzione. Dopo aver correttamente riposizionato il modulo di avviso, cioè dopo aver effettuato il trattamento di vuoto, i dati di produzione si sono allineati alle attese e la fase di verifica si è conclusa.

CAPITOLO 5
SIMULAZIONE IN ARENA

5.1 Definizione scenari e condizioni

Il confronto tra le ipotesi di modifica d'impianto si è svolto nell'ambito di due scenari. Il primo, che rappresenta il mix di produzione attuale, ha coinvolto tutti i modelli, il secondo, che è un'astrazione sotto l'ipotesi di produzione di soli acciai VDS, ha coinvolto solo i modelli relativi ai flussi di produzione modificati.

Obiettivo del primo scenario è mettere in luce i miglioramenti che le due ipotesi potrebbero apportare alla produzione attuale, mentre quello del secondo è evidenziare la capacità dei sistemi di sostenere le condizioni più proibitive che si potrebbero verificare durante la produzione.

Le quantità lavorate e le tempistiche di lavorazione e spostamento sono indipendenti dallo scenario considerato, mentre dipendono fortemente dal modello in esame e da come esso è in grado di gestire la produzione.

Nei paragrafi successivi sono esposte le condizioni principali sotto le quali si sono svolte le simulazioni. In entrambi i casi si tratta di *simulazioni a termine*, ovvero con orizzonte temporale fissato e basato su riscontri reali, con specifiche condizioni iniziali e finali.

Il numero di repliche di partenza è puramente indicativo e vuole essere solo la base di partenza per un'approfondita analisi statistica.

5.1.1 Scenario 1

Situazione attuale	HP1	HP2
Condizioni iniziali	Sistema vuoto	
Condizioni finali	Si arresta l'ingresso nel sistema di nuove entità, mentre si termina di processare quelle già presenti	
Orizzonte temporale	Una settimana ¹⁰	
Repliche	Tre repliche come base di partenza	
Mix produttivo	Mix di produzione riferito a <i>luglio 2008</i> ¹¹	

5.1.2 Scenario 2

HP1	HP2
Condizioni iniziali	Sistema vuoto
Condizioni finali	Si arresta l'ingresso nel sistema di nuove entità, mentre si termina di processare quelle già presenti
Orizzonte temporale	Una settimana ¹²
Repliche	Tre repliche come base di partenza
Mix produttivo	Produzione di soli acciai VDS su entrambe le macchine di colata

¹⁰ Questo orizzonte temporale corrisponde nella realtà al periodo tra una fermata dell'impianto e la successiva per manutenzione ordinaria del forno.

¹¹ Mix particolarmente favorevole che ha permesso all'acciaieria di incrementare sequenzialità e produttività medie.

¹² Orizzonte temporale corrispondente nella realtà al periodo tra una fermata dell'impianto e la successiva per manutenzione ordinaria. Il mix produttivo 100% VDS è imposto per verificare il sistema in condizioni estreme.

5.1.3 Indicatori di performance

Definiti gli scenari e le condizioni di inizio e fine simulazione, si sono scelti una serie di indicatori, per mezzo dei quali, una volta eseguite le simulazioni, sarà possibile valutare le performance dei differenti sistemi di produzione:

1. Tap to Tap
 - permette di verificare la saturazione del trattamento secondario e quindi il rallentamento della produzione.
2. Produzione totale CCo
 - fornisce sostegno all'indicatore precedente con relazione inversamente proporzionale.
3. Indice di sequenza CCo1
 - è il rapporto tra colate prodotte e paniere utilizzate e mette in evidenza la continuità di produzione sulla macchina critica. Maggiore è l'I.S., migliore è la continuità.
4. Saturazione GRU
 - indica il tempo dedicato direttamente alle fasi di produzione da parte della GRU.
5. Utilizzo GRU a colata
 - fornisce il numero di chiamate a cui la gru è sottoposta, per completare il ciclo di produzione di ogni colata.

5.2 Robustezza statistica simulazioni

Strumento necessario per validare il lavoro fin qui svolto è un'approfondita analisi statistica dei risultati delle simulazioni. Lo studio statistico che verrà svolto, poggia le sue basi su un fondamentale teorema della teoria statistica:

Teorema del Limite Centrale¹³

Se x_1, x_2, \dots, x_n sono variabili casuali indipendenti con media μ_i e varianza σ_i^2 e se $y = x_1 + x_2 + \dots + x_n$, allora la distribuzione

$$\frac{y - \sum_{i=1}^n \mu_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}}$$

tende alla distribuzione $N(0,1)$ per n tendente a infinito.

Il Teorema del Limite Centrale implica che la somma di n variabili casuali indipendentemente distribuite sia approssimativamente normale, senza riferimento alle distribuzioni delle singole variabili. L'approssimazione è migliore al crescere di n . In molti casi l'approssimazione sarà già buona per valori piccoli di n , mentre in taluni casi si necessita di valori molto elevati di n per ottenere un'approssimazione soddisfacente. In generale, se gli x_i sono identicamente distribuiti e la distribuzione di ciascun x_i non si discosta radicalmente da quella normale, il teorema del limite centrale è soddisfatto per $n \geq 3$ o 4.

¹³ Cfr. ...

5.2.1 Analisi statistica "Stato di fatto"

Di seguito viene riportato il procedimento svolto per la verifica del modello dello stato di fatto, per gli altri modelli sono riportati solo le analisi e i risultati finali. I dati forniti dalle simulazioni, devono essere casuali, indipendenti tra loro e normalmente distribuiti. Per verificare che i modelli forniscano output statisticamente validi, sono stati utilizzati due software specifici, Minitab e l'analizzatore di output di Arena. Eseguito il primo *RUN* e ottenuta la prima serie di indicatori di performance, questa è stata elaborata tramite il software Minitab:

1. Snooping dei dati, tramite i grafici *Time series plot* e *Scatterplot*, per evidenziare comportamenti non casuali.
2. Analisi di correlazione, tramite *Autocorrelation Function*, per verificare l'indipendenza dei dati¹⁴.
3. Test di normalità, tramite *Probability Plot*, per verificare la normalità del campione.

Confermate casualità, indipendenza e normalità dei risultati, è stata eseguita una verifica sugli intervalli di confidenza tramite l'analizzatore di output di Arena per avere un riscontro dei dati forniti dalle prime tre repliche. Obiettivo di questa verifica è ottenere degli intervalli unilaterali al 99% di livello di confidenza il cui errore percentuale nella stima della media sia al di sotto dello 1%. Il software ha fornito medie, deviazioni

¹⁴ Il primo RUN prevede solo tre repliche, un numero insufficiente per determinare una eventuale autocorrelazione.

standard e intervalli di confidenza. Tramite le formule note dalla statistica,

$$t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{n}} = \dots$$

è stato "controllato" il lavoro svolto dal software e si è evidenziato come il solo intervallo del *Tap to Tap* rispettava il valore desiderato. Si è così calcolato il numero di repliche necessario affinché la condizione imposta risultasse rispettata per tutti gli indicatori di performance che è di 24 repliche. Rispettata la procedura di verifica si è comunque deciso di eseguire nuovamente la simulazione impostando il numero di repliche a 50, in modo da avere un campione significativo per le analisi di casualità, di indipendenza e di normalità dei dati.

Sapendo che

$$n = t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}}^2 \frac{s^2}{h^2}$$

e che

$$t_{n_0-1, 1-\frac{\alpha}{2}}^2 \frac{s^2}{h_0^2} \cong t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}}^2 \frac{s^2}{h^2}$$

si arriva all'approssimazione:

$$n \cong n_0 \frac{h_0^2}{h^2}$$

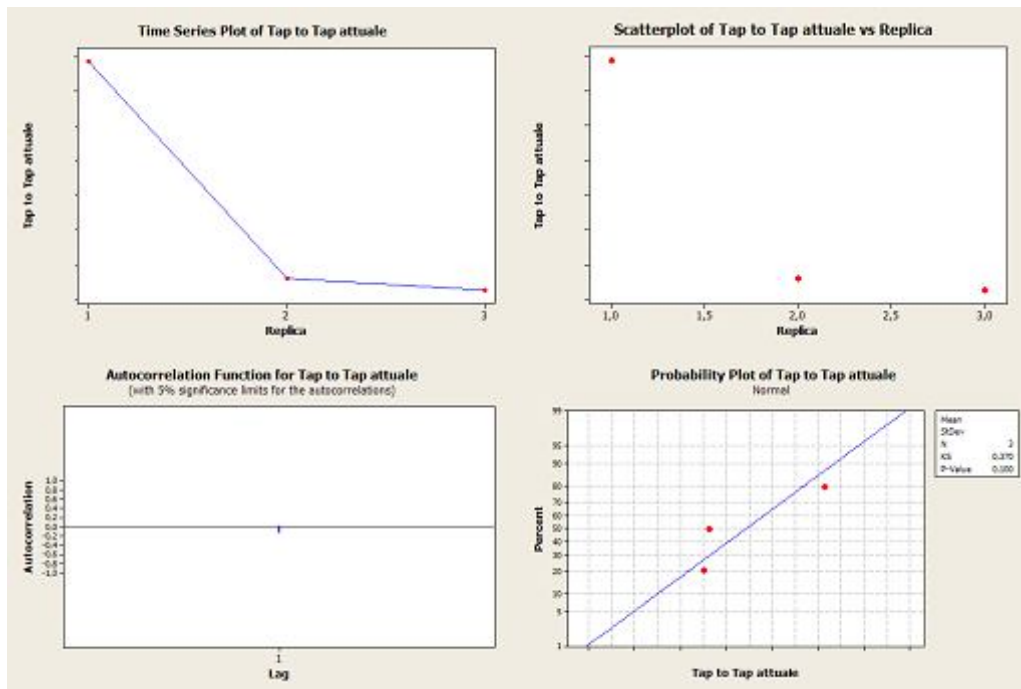


Figura 47 – Analisi Tap to Tap tramite Minitab

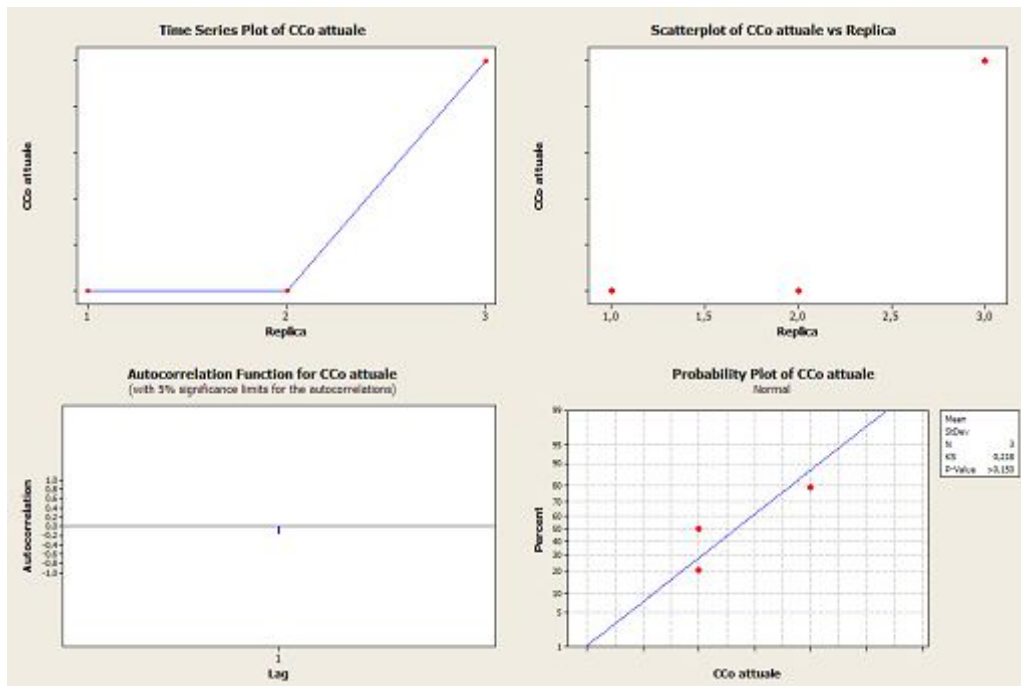


Figura 48 – Analisi Produzione CCo tramite Minitab

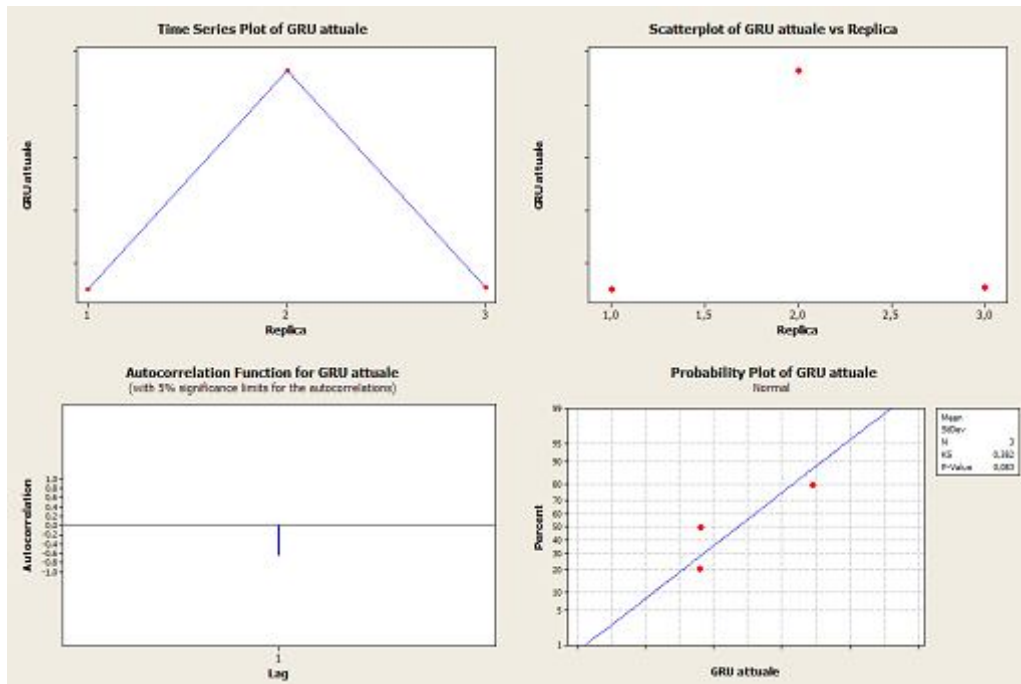


Figura 49 – Analisi Saturazione GRU tramite Minitab

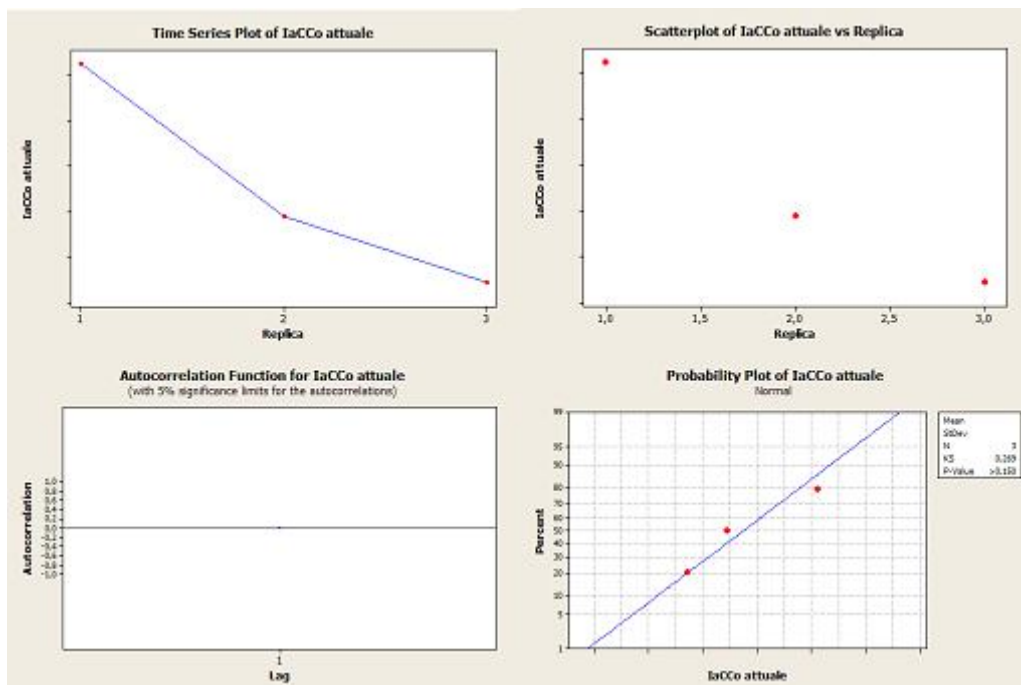


Figura 50 – Analisi Impegni a CCo tramite Minitab

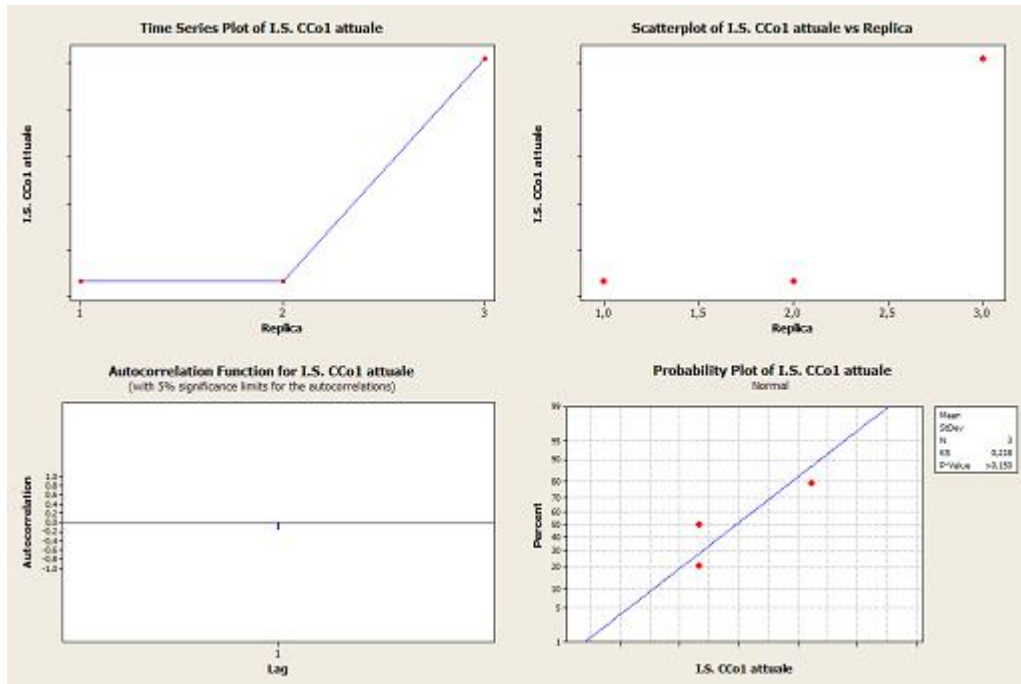
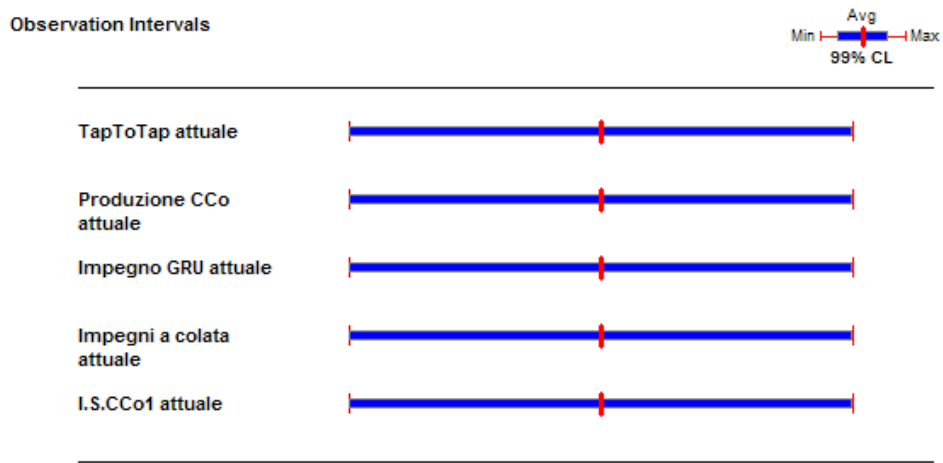


Figura 51 – Analisi *Indice di sequenza CCo1* tramite Minitab



Classical C.I. Intervals Summary						
IDENTIFIER	AVERAGE	STANDARD DEVIATION	0.990 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS.
TapToTap attuale		0.0743	0.426			3
Produzione CCo attuale		0.577	3.31			3
Impegno GRU attuale		0.000953	0.00546			3
Impegni a colata attuale		0.0247	0.142			3
I.S.CCo1 attuale		0.0275	0.158			3

Figura 52 – Analisi dati tramite analizzatore di output di Arena

Stato di fatto					
	TtT	Produzione	SatGru	I. a Cco	I.S. CCo1
μ					
σ	0,074	0,577	0,001	0,025	0,028
I.U.	0,43	3,31	0,01	0,14	0,16
errore % su media	0,876%	1,590%	1,247%	2,808%	2,144%
e% target	≤1%	≤1%	≤1%	≤1%	≤1%
I.U. target	0,486	2,080	0,004	0,050	0,074
N. repliche	2,302	7,580	4,663	23,659	13,790

Tabella 25 - Dati riassuntivi prime tre repliche e valori target

A questo punto si è avviata la seconda simulazione e si è svolto il medesimo processo di verifica appena descritto per validare i risultati ottenuti.

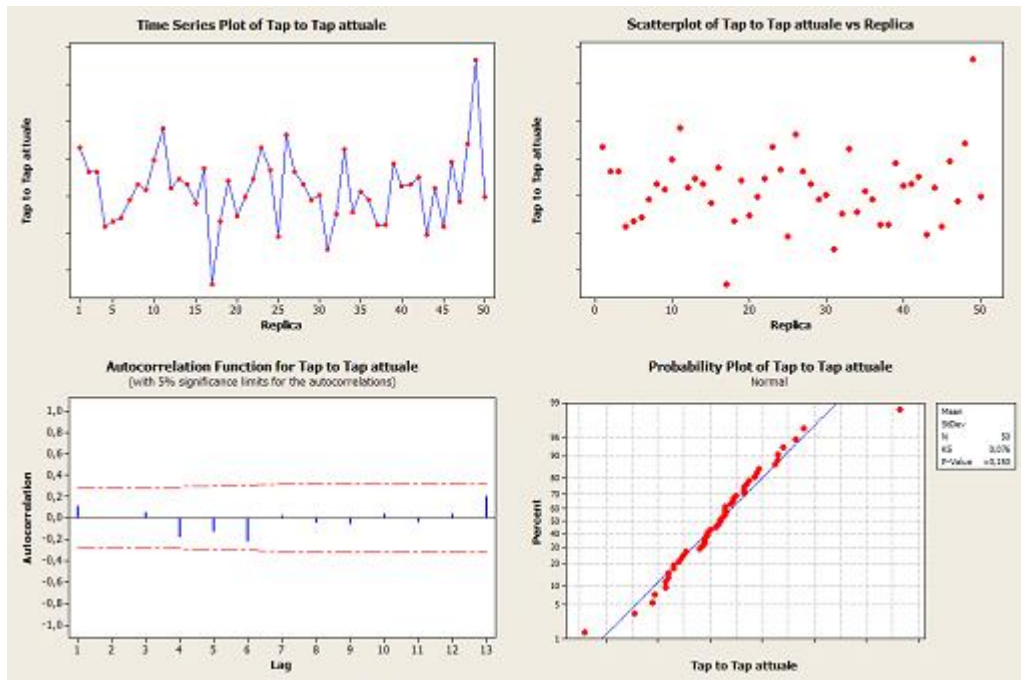


Figura 53 - Analisi Tap to Tap tramite Minitab (50 repliche)

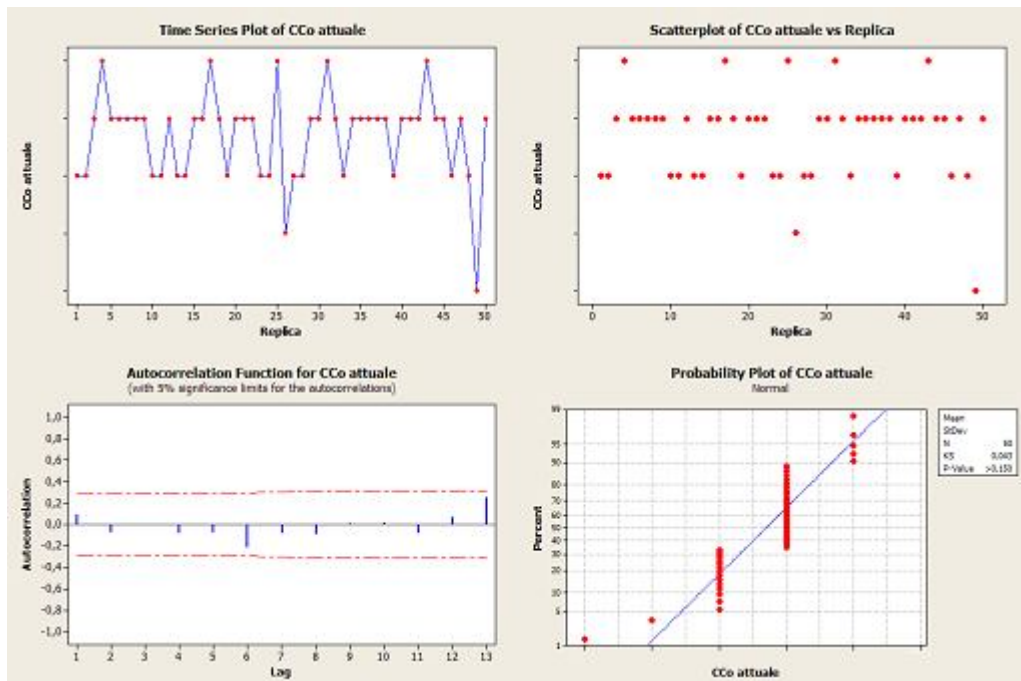


Figura 54 - Analisi Produzione CCo tamite Minitab (50 repliche)

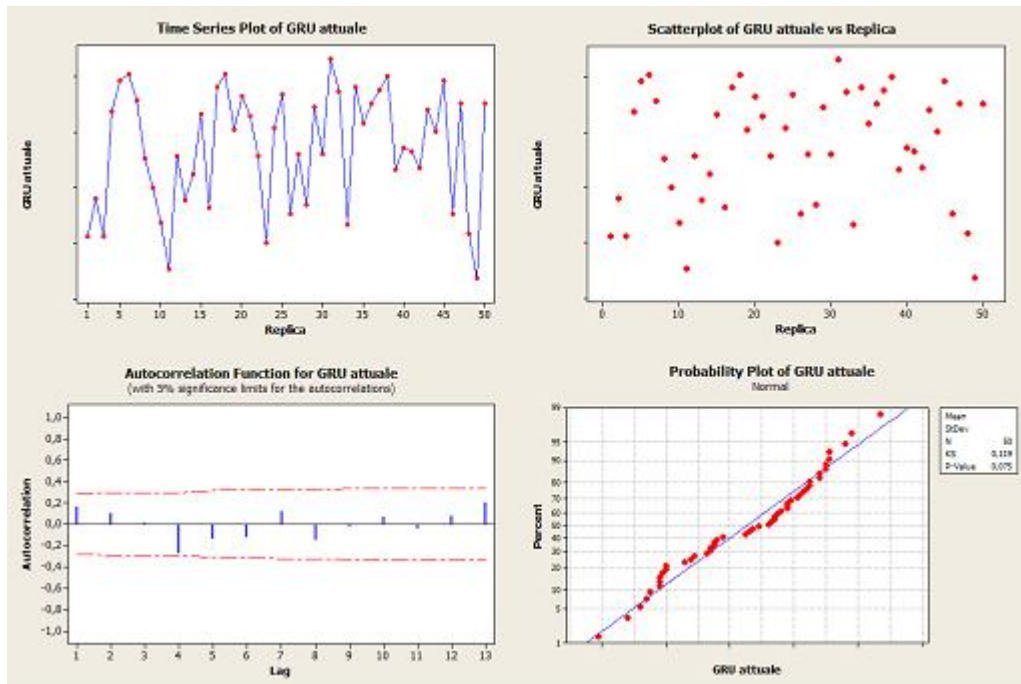


Figura 55 - Analisi *Saturazione GRU* tramite Minitab (50 repliche)

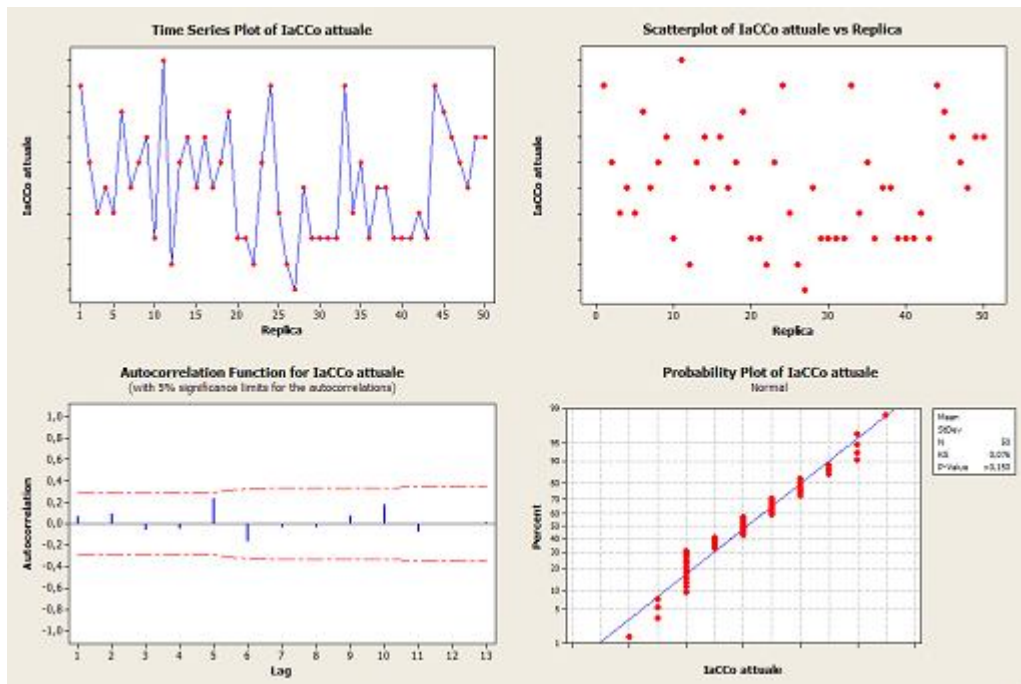


Figura 56 - Analisi *Impegni a CCo* tramite Minitab (50 repliche)

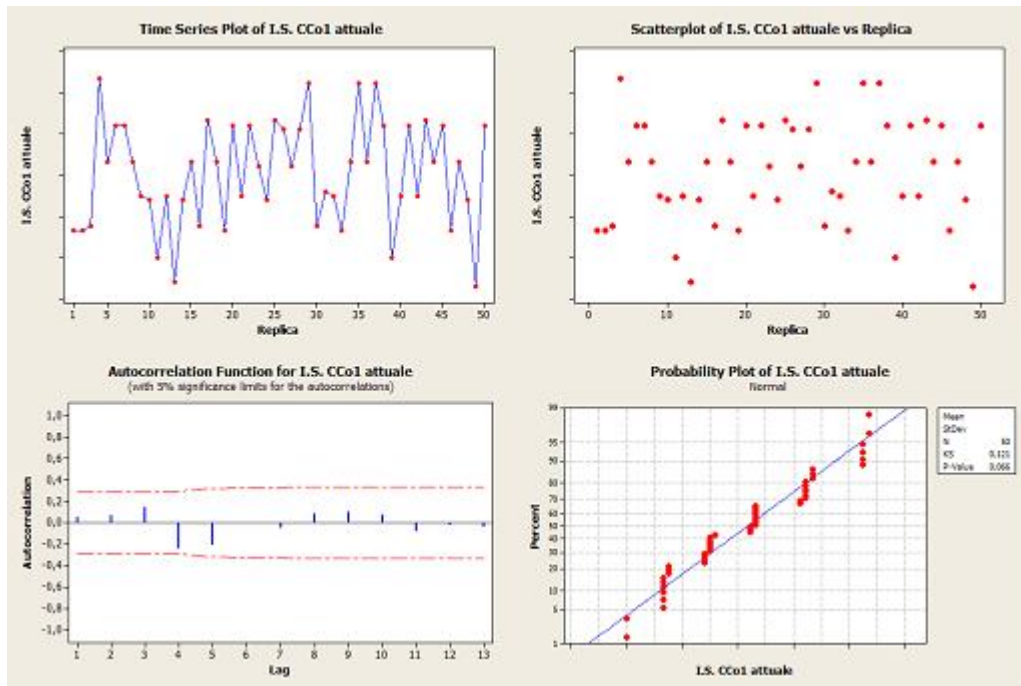
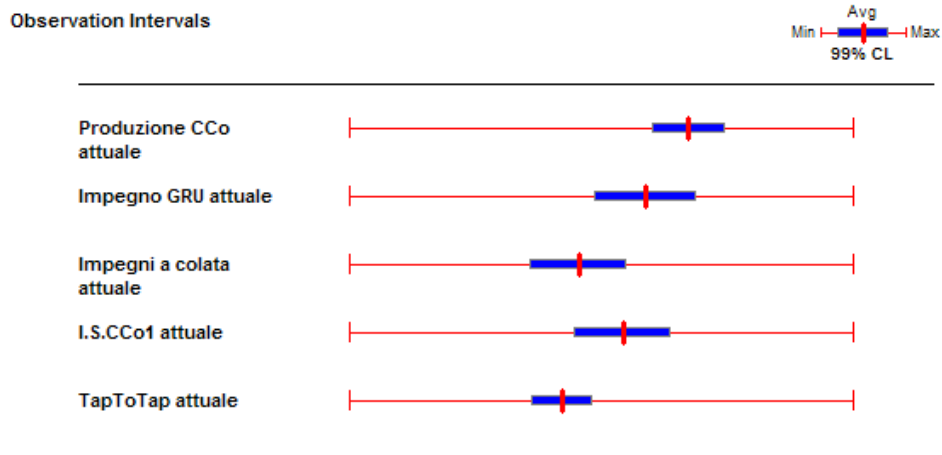


Figura 57 - Analisi *Indice di sequenza CCo1* tramite Minitab (50 repliche)



Classical C.I. Intervals Summary						
IDENTIFIER	AVERAGE	STANDARD DEVIATION	0.990 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS.
Produzione CCo attuale	1.121	0.193	0.289	0.832	1.410	50
Impegno GRU attuale	0.200	0.00264	0.001	0.197	0.203	50
Impegni a colata attuale	0.500	0.0231	0.00877	0.481	0.519	50
I.S.CCo1 attuale	0.200	0.198	0.082	0.118	0.282	50
TapToTap attuale	0.200	0.193	0.0731	0.127	0.273	50

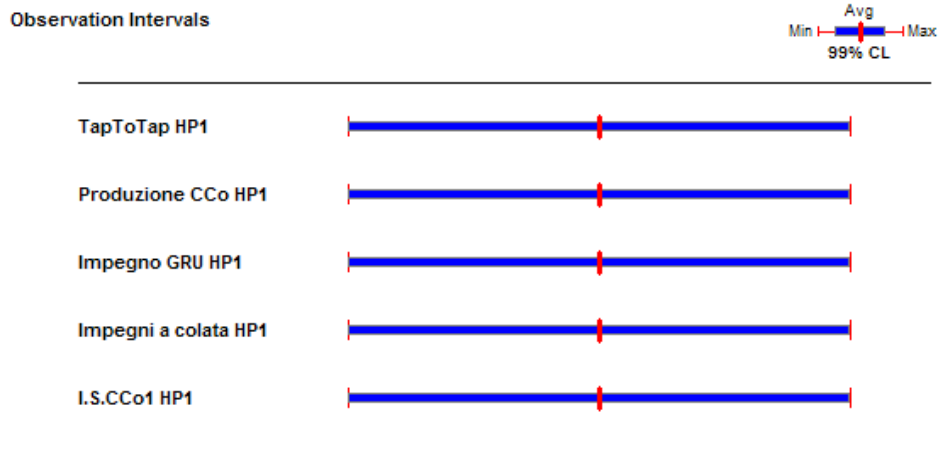
Figura 58 - Analisi dati tramite analizzatore di output di Arena(50 repliche)

Stato di fatto					
	TtT	Produzione	SatGru	I. a Cco	I.S. CCo1
μ					
σ	0,193	0,763	0,003	0,023	0,198
I.U.	0,07	0,29	0,001	0,01	0,08
errore % su media	0,151%	0,138%	0,227%	0,175%	0,935%

Tabella 26 – Dati finali (50 repliche)

5.2.2 Analisi statistica HP1

5.2.2.1 Scenario 1



Classical C.I. Intervals Summary						
IDENTIFIER	AVERAGE	STANDARD DEVIATION	0.990 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS.
TapToTap HP1		0.0727	0.417			3
Produzione CCo HP1		0.577	3.31			3
Impegno GRU HP1		0.00232	0.0133			3
Impegni a colata HP1		0.0663	0.38			3
I.S.CCo1 HP1		0.37	2.12			3

Figura 59 – Analisi dati tramite analizzatore di output di Arena(3 repliche)

HP1					
	TtT	Produzione	SatGru	I. a Cco	I.S. CCo1
μ					
σ	0,073	0,577	0,002	0,066	0,370
I.U.	0,42	3,31	0,01	0,38	2,12
errore % su media	0,924%	1,476%	2,823%	8,259%	20,192%
e% target	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$
I.U. target	0,451	2,240	0,005	0,046	0,105
N. repliche	2,560	6,536	23,900	204,631	1223,167

Tabella 27 – Dati riassuntivi prime tre repliche e valori target

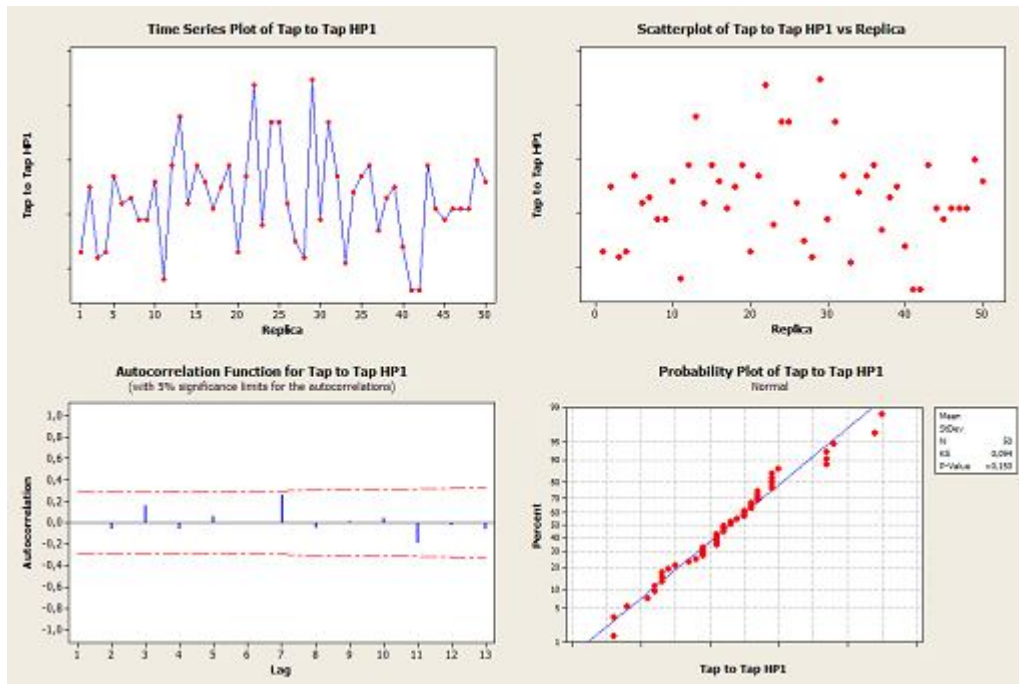


Figura 60 - Analisi Tap to Tap tramite Minitab (50 repliche)

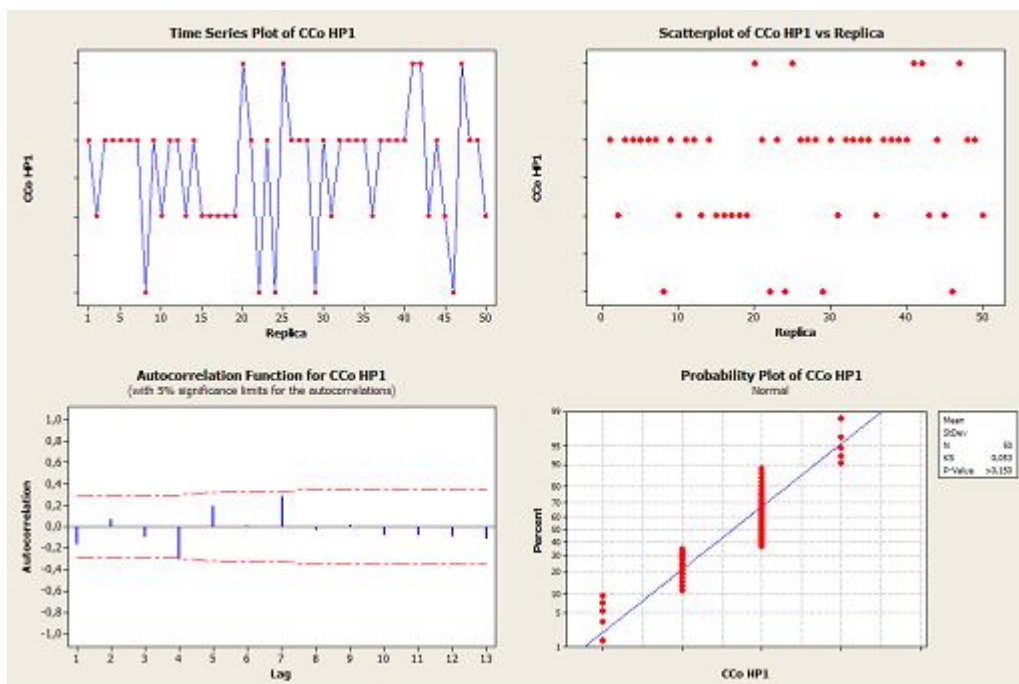


Figura 61 - Analisi Produzione CCo tramite Minitab (50 repliche)

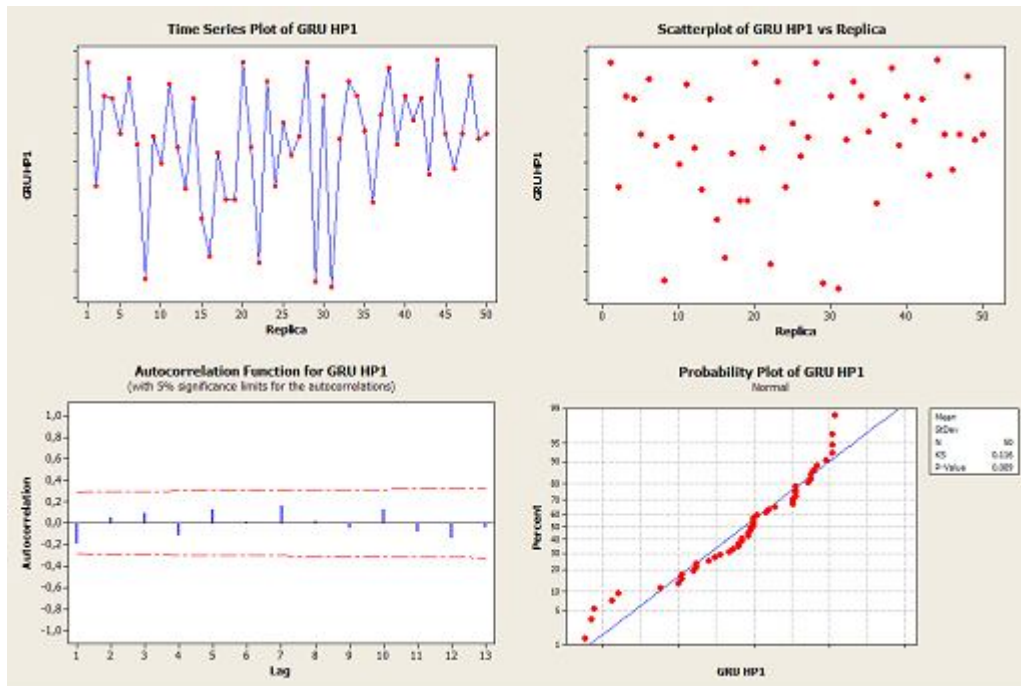


Figura 62 - Analisi Saturazione GRU tramite Minitab (50 repliche)

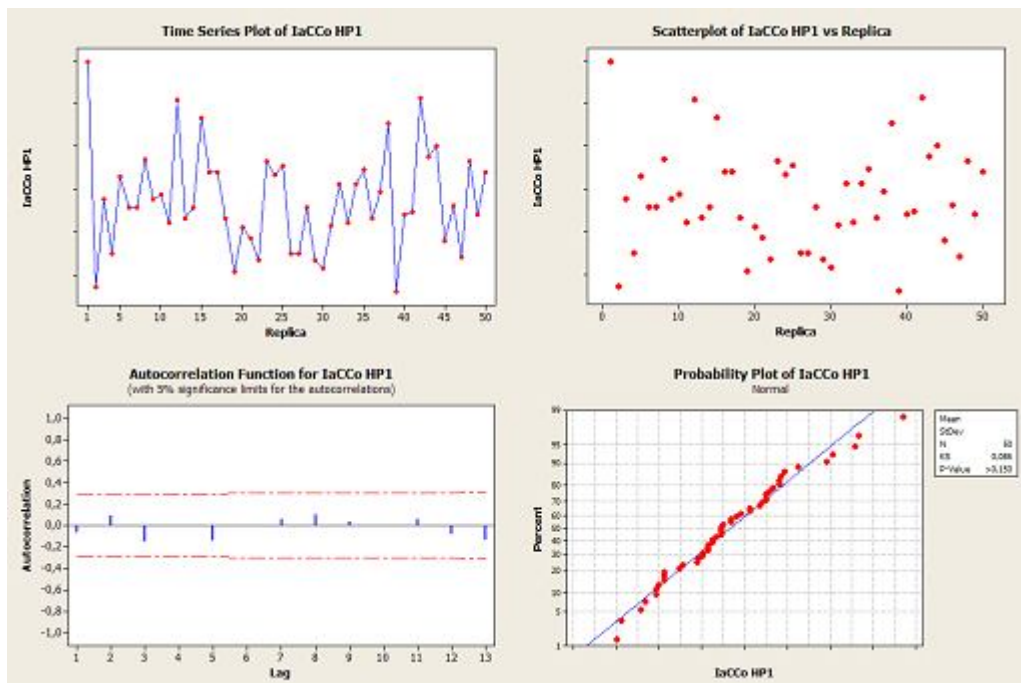


Figura 63 - Analisi Impegni a CCo tramite Minitab (50 repliche)

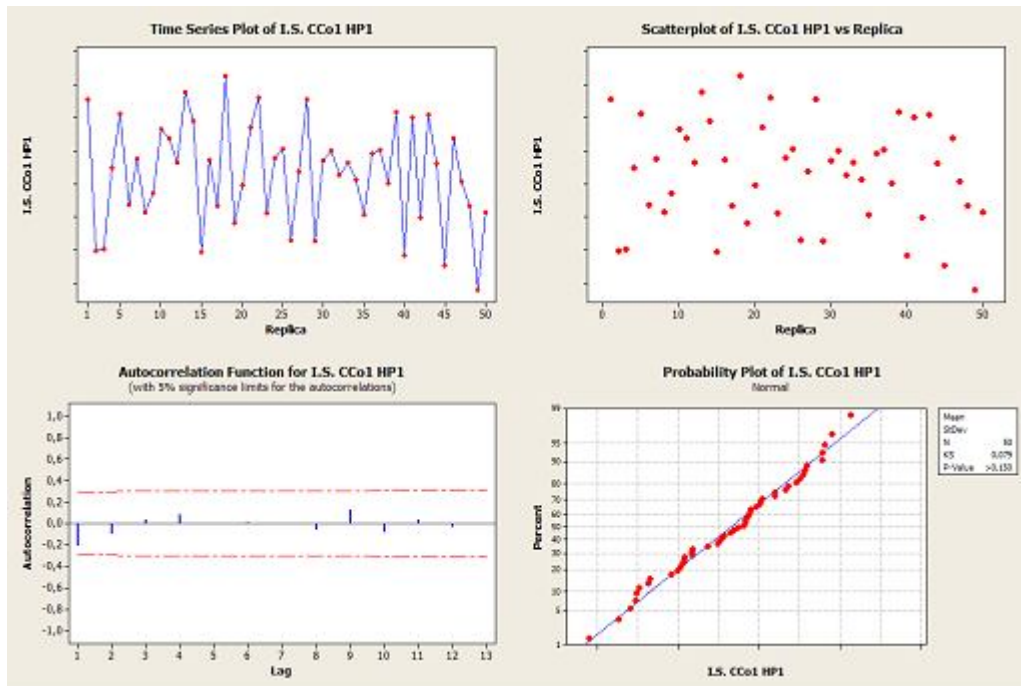
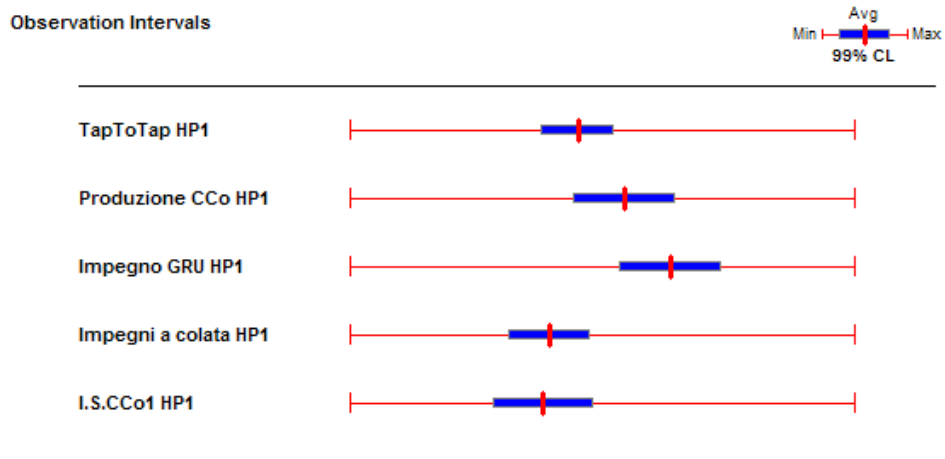


Figura 64 - Analisi *Indice di sequenza CCo1* tramite Minitab (50 repliche)



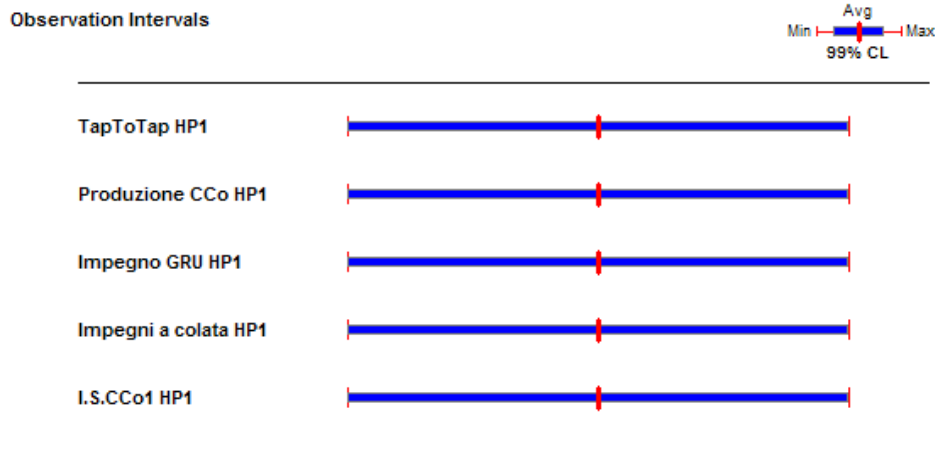
Classical C.I. Intervals Summary						
IDENTIFIER	AVERAGE	STANDARD DEVIATION	0.990 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS.
TapToTap HP1		0.141	0.0535			50
Produzione CCo HP1		0.802	0.304			50
Impegno GRU HP1		0.00221	0.000836			50
Impegni a colata HP1		0.0289	0.0109			50
I.S.CCo1 HP1		0.236	0.093			50

Figura 65 - Analisi dati tramite analizzatore di output di Arena(50 repliche)

HP1					
	TtT	Produzione	SatGru	I. a Cco	I.S. CCo1
μ					
σ	0,141	0,802	0,002	0,029	0,236
I.U.	0,05	0,30	0,001	0,01	0,09
errore % su media	0,119%	0,136%	0,178%	0,239%	0,878%

Figura 66 - Dati finali (50 repliche)

5.2.2.2 Scenario 2



Classical C.I. Intervals Summary						
IDENTIFIER	AVERAGE	STANDARD DEVIATION	0.990 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS.
TapToTap HP1		0.157	0.898			3
Produzione CCo HP1		0.577	3.31			3
Impegno GRU HP1		0.00145	0.00829			3
Impegni a colata HP1		0.0303	0.174			3
I.S.CCo1 HP1		0.471	2.7			3

Figura 67 – Analisi dati tramite analizzatore di output di Arena(3 repliche)

HP1					
	TtT	Produzione	SatGru	I. a Cco	I.S. CCo1
μ					
σ	0,157	0,577	0,001	0,033	0,471
I.U.	0,90	3,31	0,01	0,19	2,70
errore % su media	1,910%	1,545%	1,746%	3,595%	22,122%
e% target	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$
I.U. target	0,471	2,140	0,005	0,053	0,122
N. repliche	10,945	7,161	9,141	38,772	1468,193

Tabella 28 – Dati riassuntivi prime tre repliche e valori target

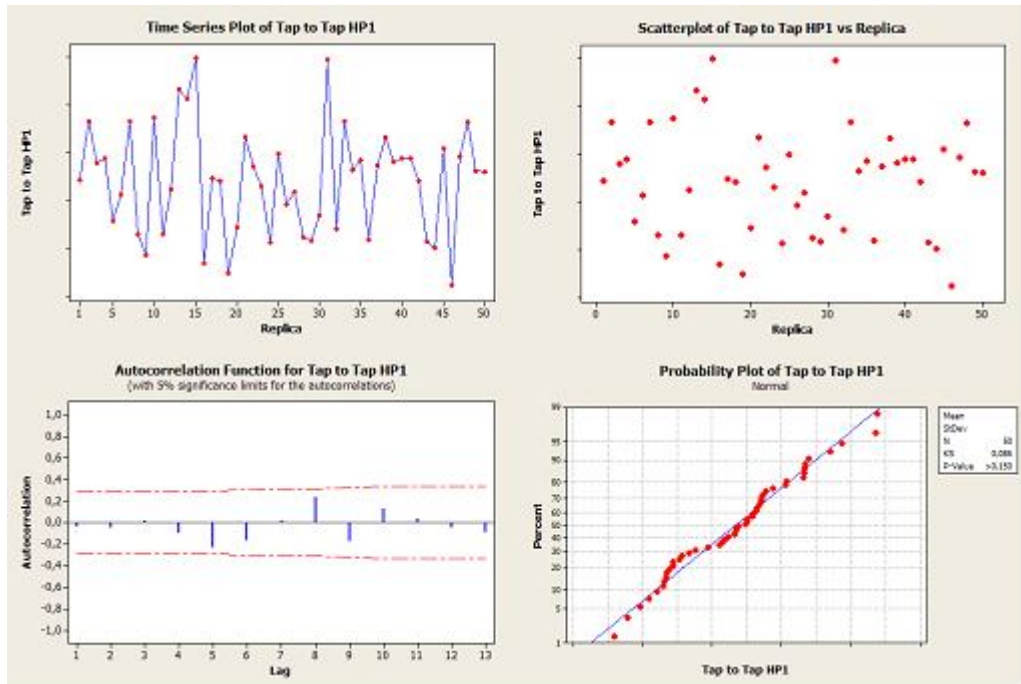


Figura 68 - Analisi Tap to Tap tramite Minitab (50 repliche)

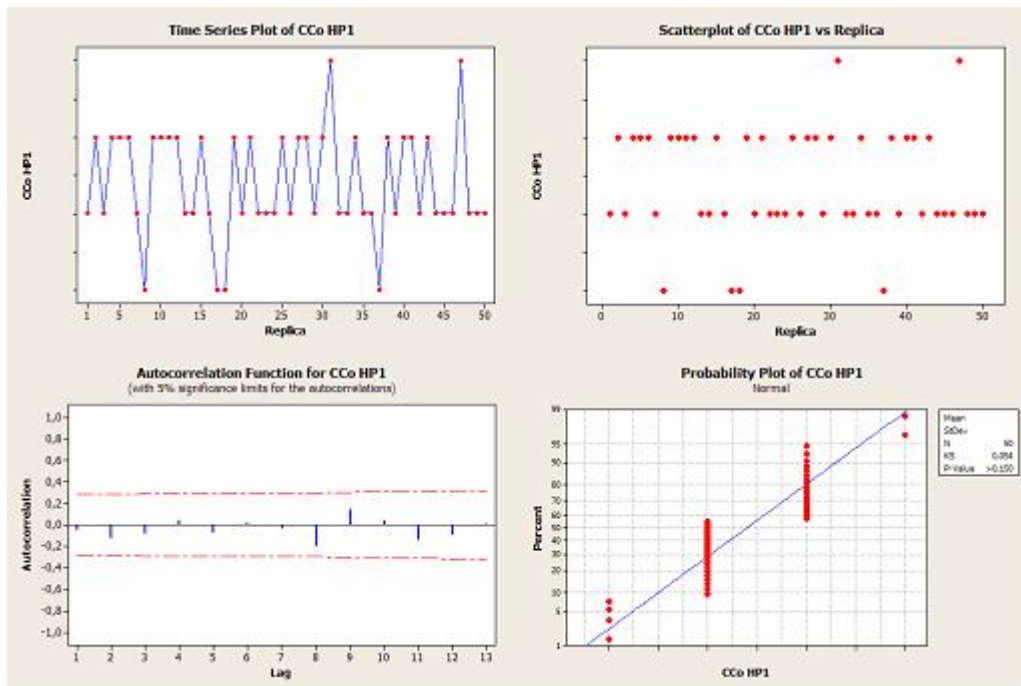


Figura 69 - Analisi Produzione CCo tramite Minitab (50 repliche)

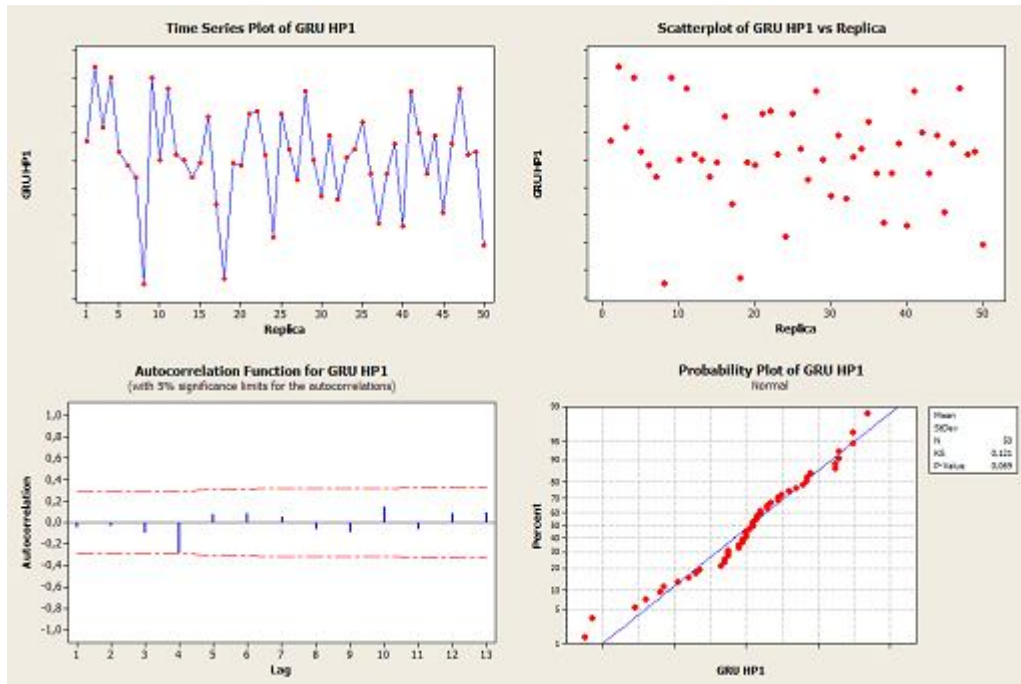


Figura 70 - Analisi Saturazione GRU tramite Minitab (50 repliche)

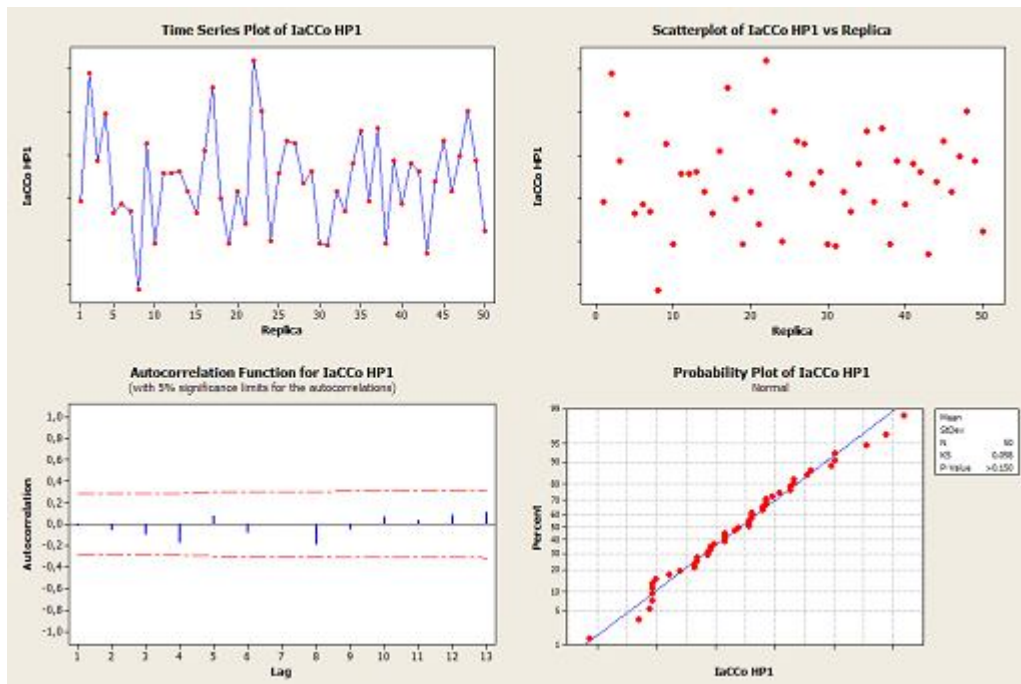


Figura 71 - Analisi Impegni a CCo tramite Minitab (50 repliche)

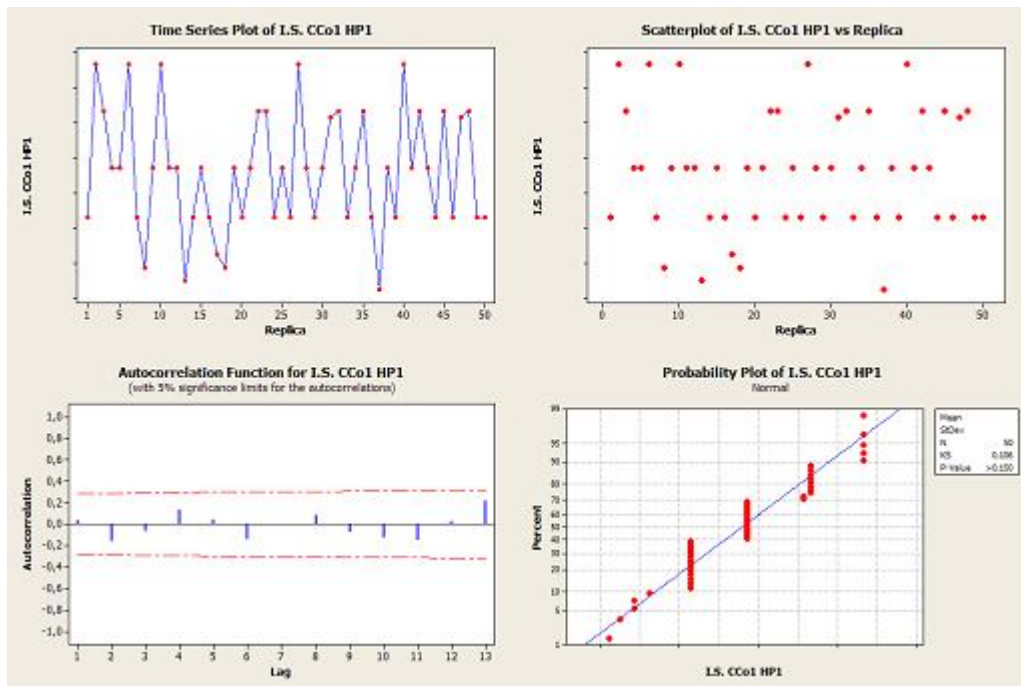


Figura 72 - Analisi *Indice di sequenza CCo1* tramite Minitab (50 repliche)

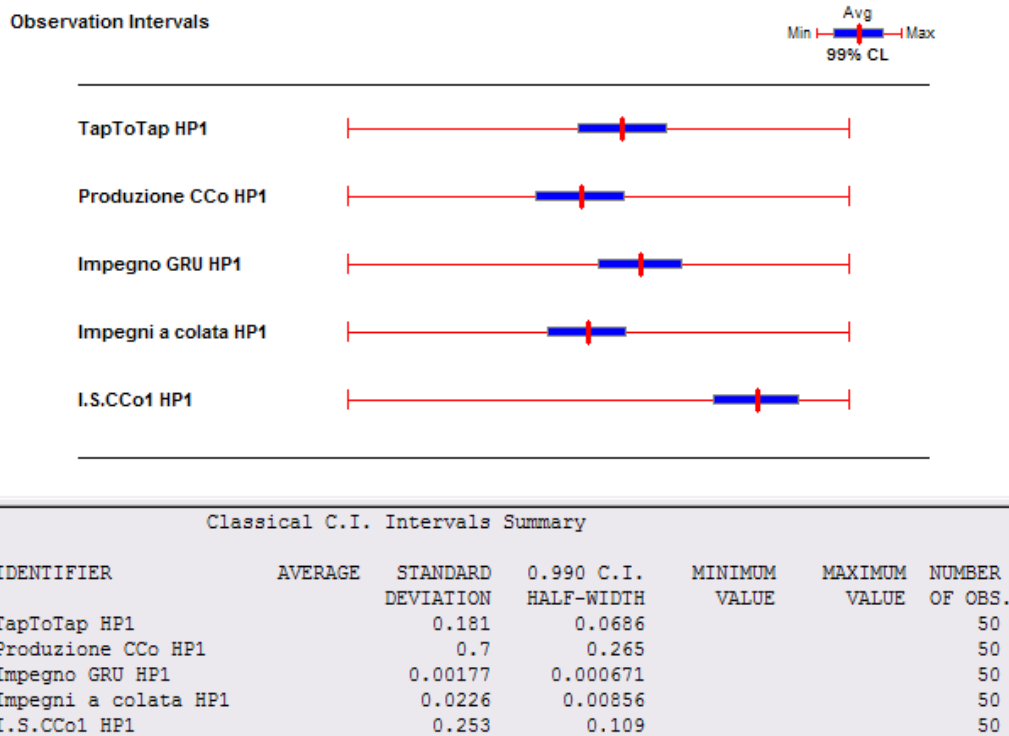


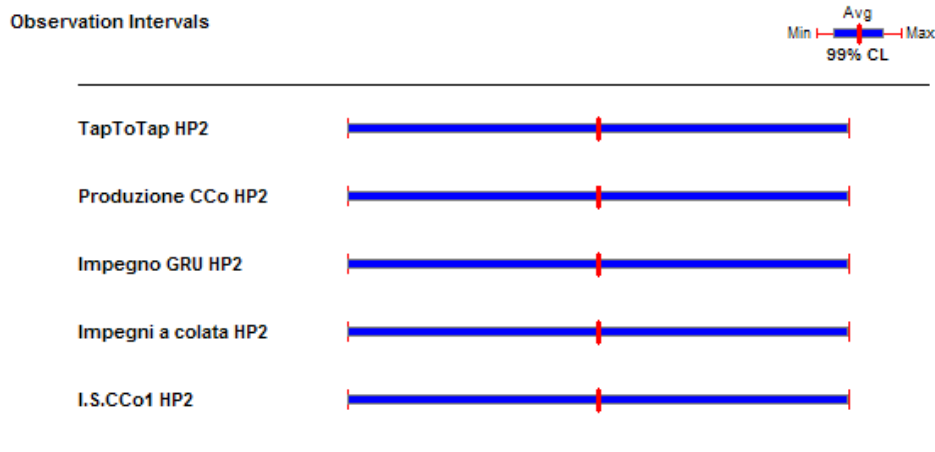
Figura 73 – Analisi dati tramite analizzatore di output di Arena(50 repliche)

HP1					
	TtT	Produzione	SatGru	I. a Cco	I.S. CCo1
μ					
σ	0,181	0,700	0,002	0,022	0,253
I.U.	0,07	0,27	0,001	0,01	0,10
errore % su media	0,146%	0,124%	0,136%	0,159%	0,774%

Figura 74 - Dati finali (50 repliche)

5.2.3 Analisi statistica HP2

5.2.3.1 Scenario 1



Classical C.I. Intervals Summary						
IDENTIFIER	AVERAGE	STANDARD DEVIATION	0.990 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS.
TapToTap HP2		0.38	2.18			3
Produzione CCo HP2		2	11.5			3
Impegno GRU HP2		0.00528	0.0302			3
Impegni a colata HP2		0.0749	0.429			3
I.S.CCo1 HP2		0.298	1.71			3

Figura 75 – Analisi dati tramite analizzatore di output di Arena(3 repliche)

HP2					
	TtT	Produzione	SatGru	I. a Cco	I.S. CCo1
μ					
σ	0,380	2,000	0,005	0,075	0,298
I.U.	2,18	11,46	0,03	0,43	1,71
errore % su media	4,786%	5,162%	5,741%	7,719%	18,521%
e% target	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$
I.U. target	0,455	2,220	0,005	0,056	0,092
N. repliche	68,708	79,949	98,880	178,762	1029,039

Tabella 29 – Dati riassuntivi prime tre repliche e valori target

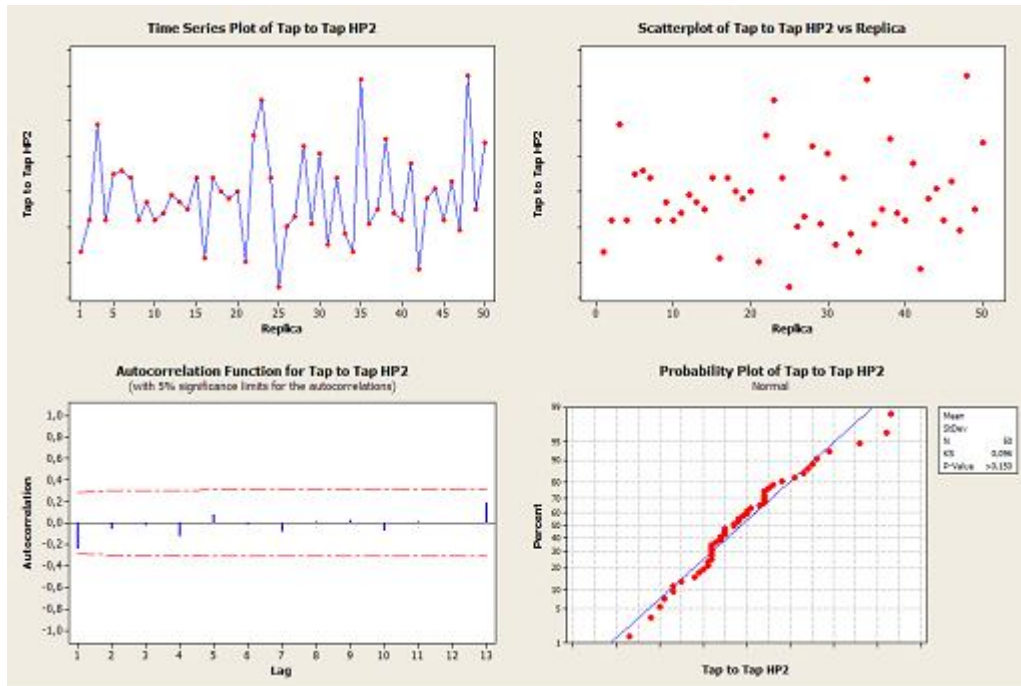


Figura 76 - Analisi Tap to Tap tramite Minitab (50 repliche)

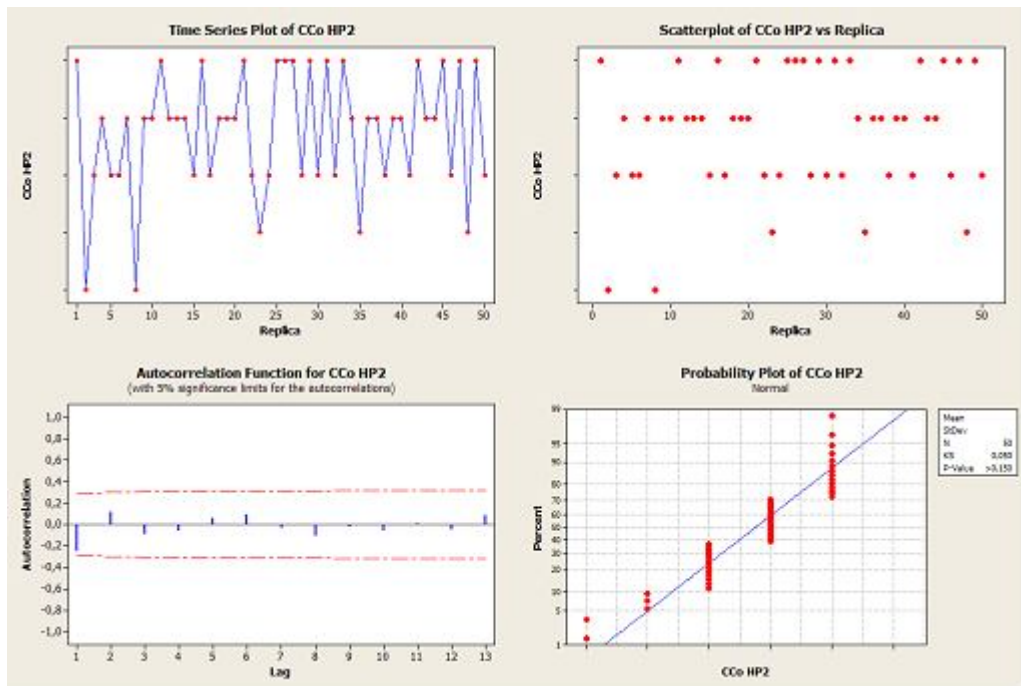


Figura 77 - Analisi Produzione CCo tramite Minitab (50 repliche)

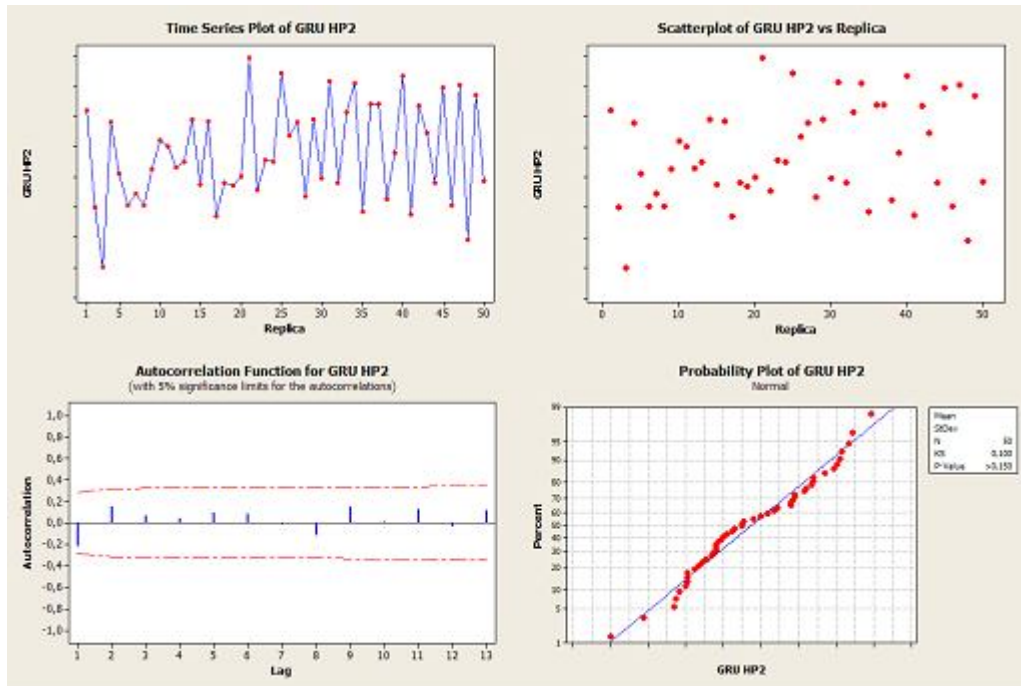


Figura 78 - Analisi Saturazione GRU tramite Minitab (50 repliche)

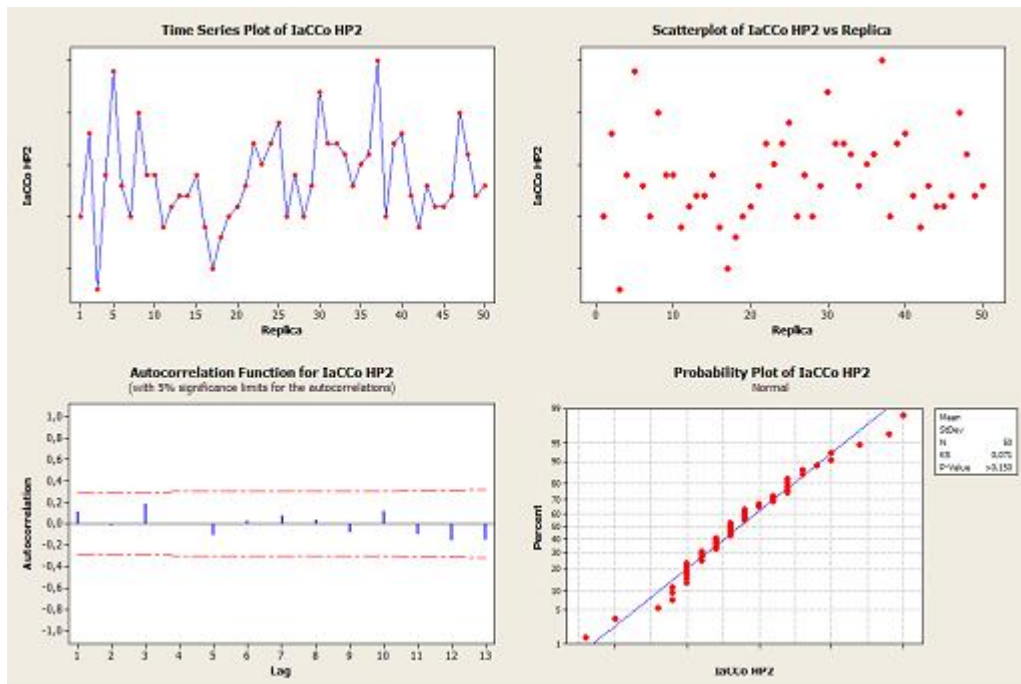


Figura 79 - Analisi Impegni a CCo tramite Minitab (50 repliche)

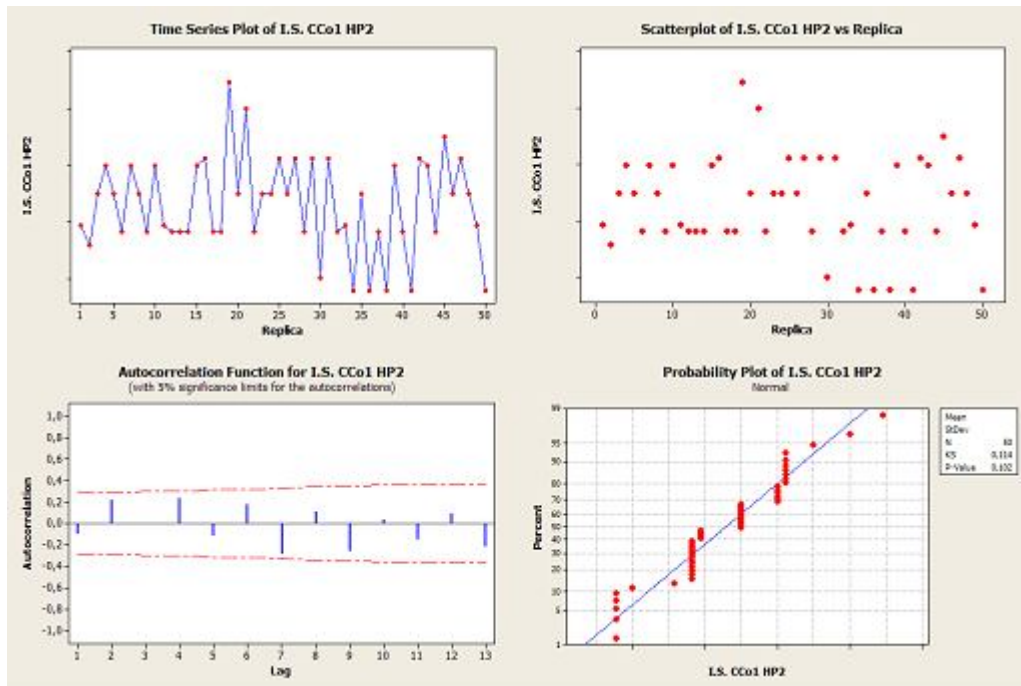
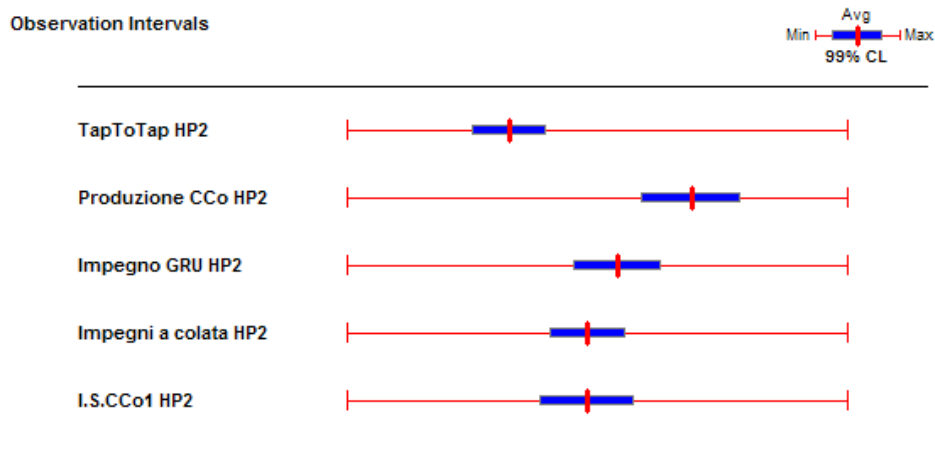


Figura 80 - Analisi *Indice di sequenza CCo1* tramite Minitab (50 repliche)



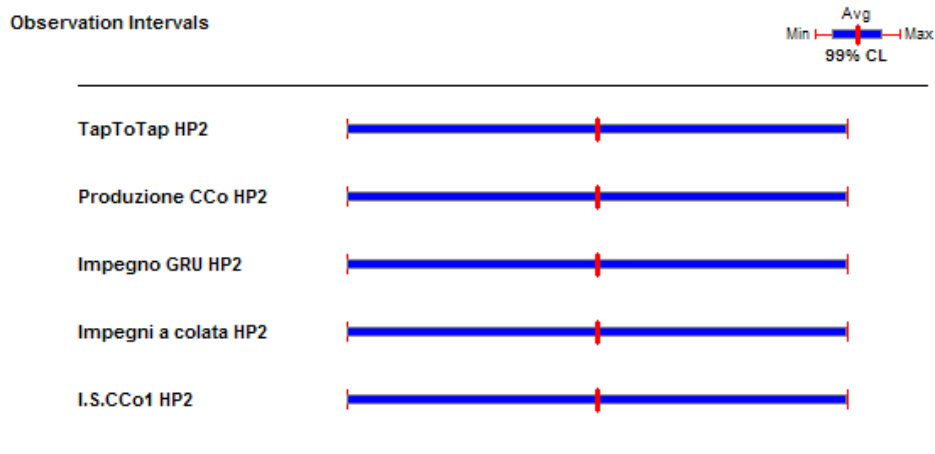
Classical C.I. Intervals Summary						
IDENTIFIER	AVERAGE	STANDARD DEVIATION	0.990 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS.
TapToTap HP2	0.171	0.171	0.0647			50
Produzione CCo HP2	1.06	1.06	0.402			50
Impegno GRU HP2	0.00326	0.00326	0.00123			50
Impegni a colata HP2	0.0435	0.0435	0.0165			50
I.S.CCo1 HP2	0.0171	0.171	0.063			50

Figura 81 - Analisi dati tramite analizzatore di output di Arena(50 repliche)

HP2					
	TtT	Produzione	SatGru	I. a Cco	I.S. CCo1
μ					
σ	0,171	1,060	0,003	0,043	0,171
I.U.	0,06	0,40	0,00	0,02	0,06
errore % su media	0,143%	0,180%	0,233%	0,292%	0,682%

Figura 82 - Dati finali (50 repliche)

5.2.3.2 Scenario 2



Classical C.I. Intervals Summary						
IDENTIFIER	AVERAGE	STANDARD DEVIATION	0.990 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS.
TapToTap HP2		0.475	2.72			3
Produzione CCo HP2		2	11.5			3
Impegno GRU HP2		0.00523	0.03			3
Impegni a colata HP2		0.0342	0.196			3
I.S.CCo1 HP2		0.79	4.53			3

Figura 83 – Analisi dati tramite analizzatore di output di Arena(3 repliche)

HP2					
	TtT	Produzione	SatGru	I. a Cco	I.S. CCo1
μ					
σ	0,475	2,000	0,005	0,034	0,790
I.U.	2,72	11,46	0,03	0,20	4,53
errore % su media	5,488%	5,618%	5,489%	3,062%	44,381%
e% target	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$
I.U. target	0,496	2,040	0,005	0,064	0,102
N. repliche	90,341	94,681	90,381	28,129	5909,012

Tabella 30 – Dati riassuntivi prime tre repliche e valori target

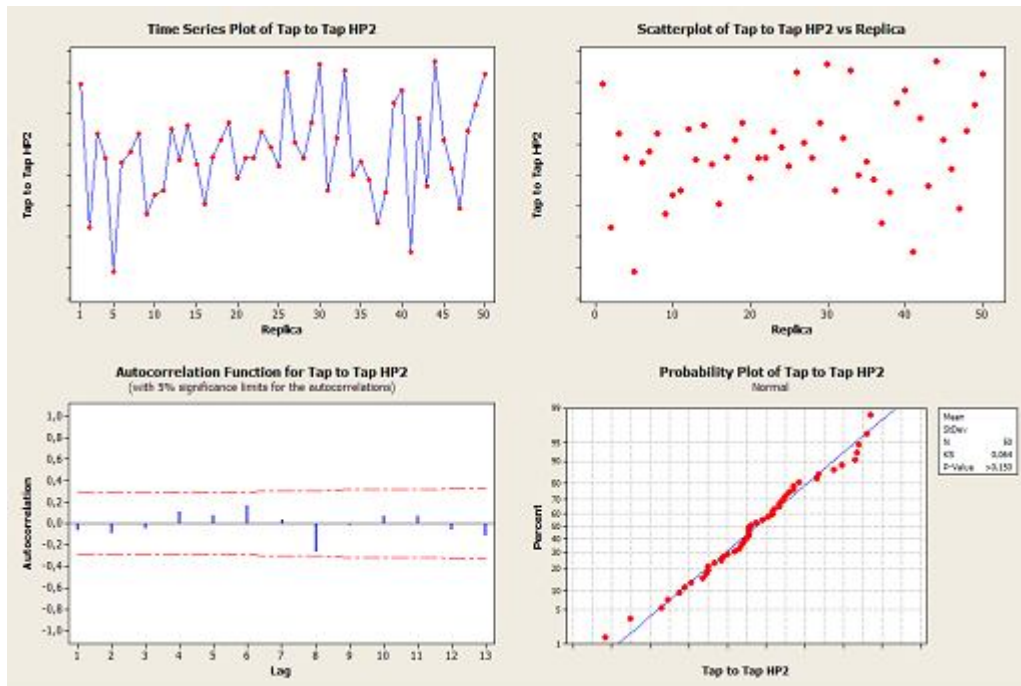


Figura 84 - Analisi Tap to Tap tramite Minitab (50 repliche)

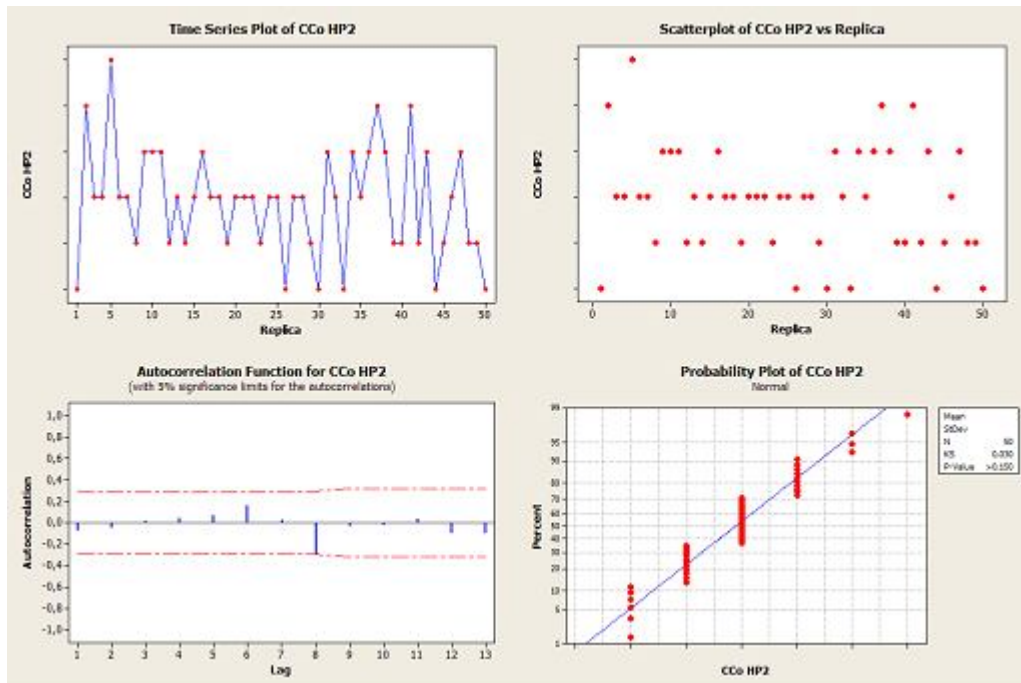


Figura 85 - Analisi Produzione CCo tramite Minitab (50 repliche)

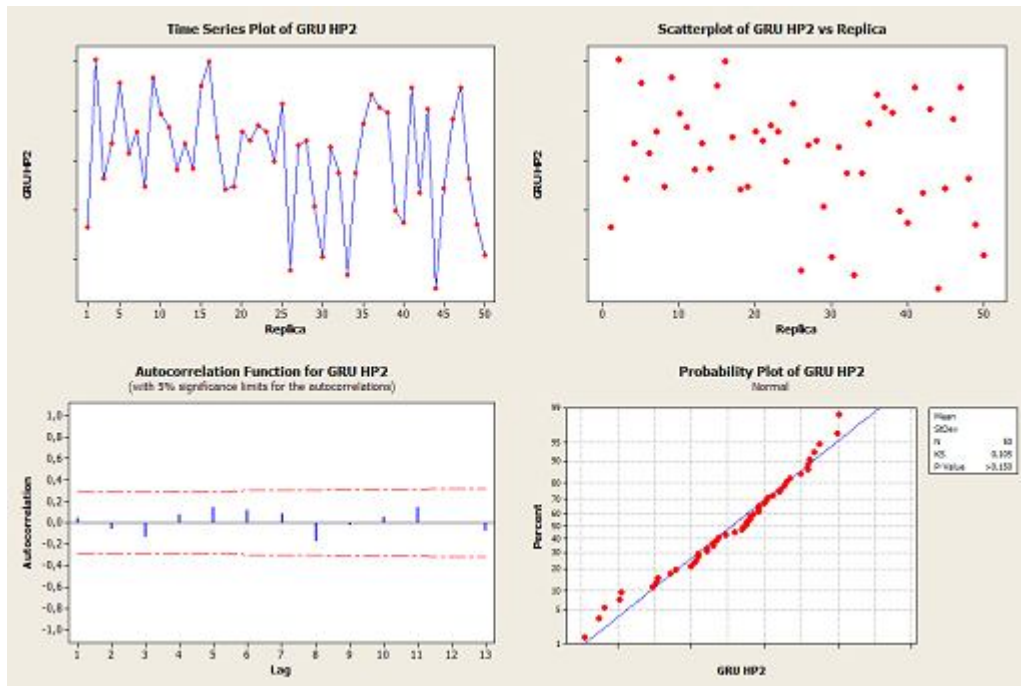


Figura 86 - Analisi Saturazione GRU tramite Minitab (50 repliche)

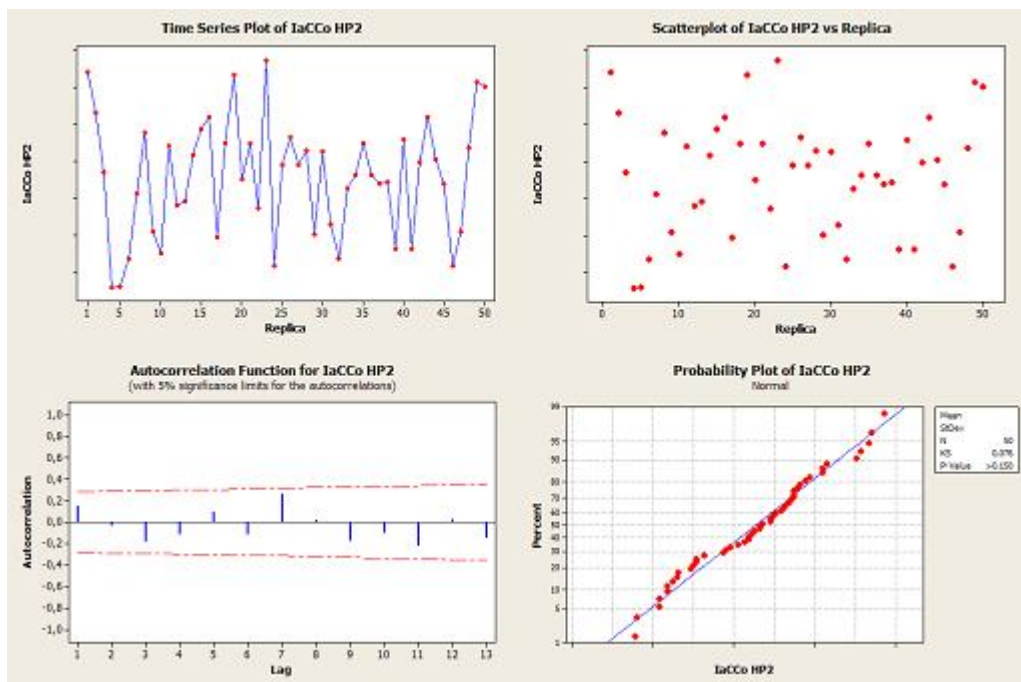


Figura 87 - Analisi Impegni a CCo tramite Minitab (50 repliche)

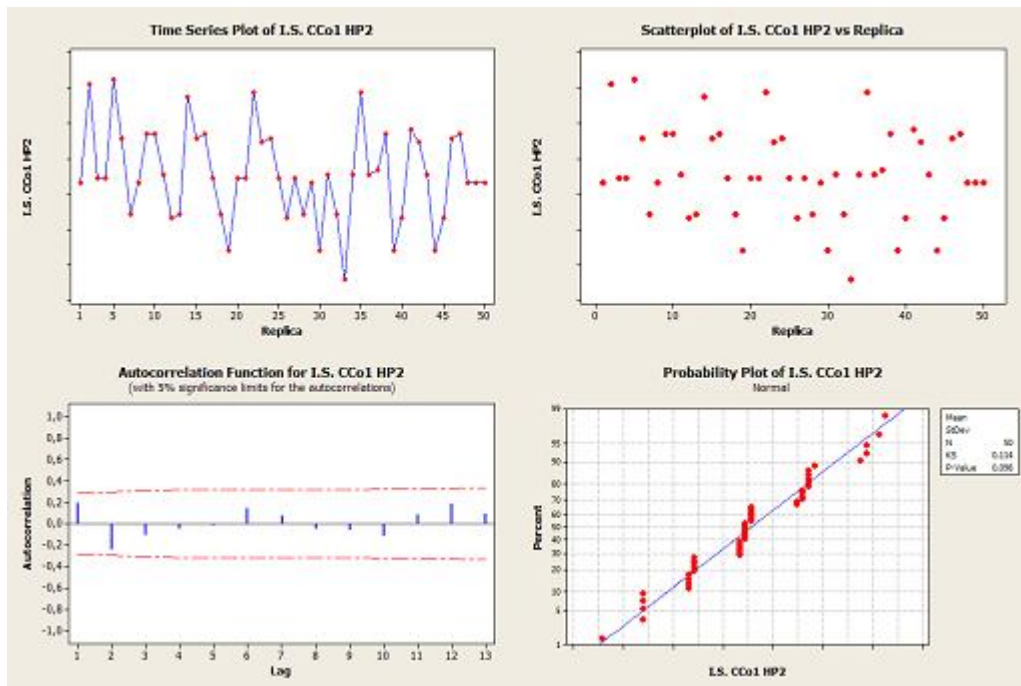
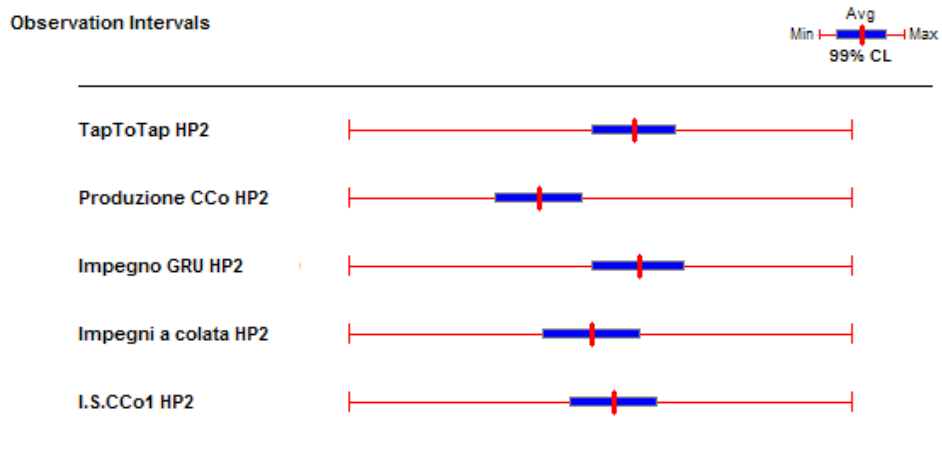


Figura 88 - Analisi *Indice di sequenza CCo1* tramite Minitab (50 repliche)



Classical C.I. Intervals Summary						
IDENTIFIER	AVERAGE	STANDARD DEVIATION	0.990 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS.
TapToTap HP2		0.308	0.117			50
Produzione CCo HP2		1.16	0.442			50
Impegno GRU HP2		0.00345	0.00131			50
Impegni a colata HP2		0.0396	0.015			50
I.S.CCo1 HP2		0.255	0.100			50

Figura 89 – Analisi dati tramite analizzatore di output di Arena(50 repliche)

HP2					
	TtT	Produzione	SatGru	I. a Cco	I.S. CCo1
μ					
σ	0,308	1,160	0,003	0,040	0,255
I.U.	0,12	0,44	0,001	0,02	0,10
errore % su media	0,236%	0,216%	0,240%	0,236%	0,988%

Figura 90 - Dati finali (50 repliche)

5.3 Risultati simulazioni

Primo passo verso l'analisi dei dati è la raccolta dei risultati delle simulazioni; nelle *Tabelle 31 e 32* sono riportati i valori medi delle prime tre repliche.

SCENARIO 1			
	Attuale	HP1	HP2
Tap to Tap [min]	XX,X	-7,2%	-6,38%
Produzione [CCo/settimana]	XXX	+7,7%	+6,7%
Indice di sequenza [CCo/paniera]	X,XX	+45,6%	+27,6%
Saturazione GRU [utilizzo %]	XX,X%	+7,3%	+20,8%
Utilizzi a colata [N° utilizzi/N° CCo]	X,XX	-8,53%	+10,9%

Tabella 31 - Risultati finali – Scenario 1

SCENARIO 2		
	HP1	HP2
Tap to Tap [min]	XX,X	+5,31%
Produzione [CCo/giorno]	XX,X	-4,67%
Indice di sequenza [CCo/paniera]	XX	-21,1%
Saturazione GRU [utilizzo %]	XX,X%	+15,2%
Utilizzi a colata [N° utilizzi/N° CCo]	X,X	+21,14%

Tabella 32 - Risultati finali – Scenario 2

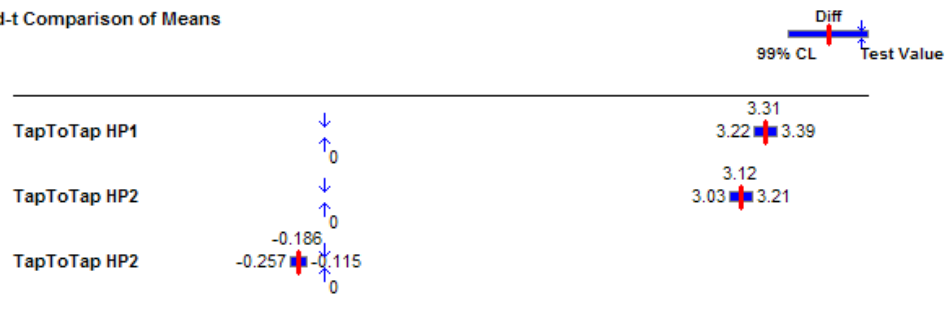
5.4 Analisi qualitativa output

Ora, tramite un confronto sulla media, si cercherà di dare un'indicazione qualitativa dei risultati ottenuti fornendone anche una *garanzia* statistica.

5.4.1 Scenario 1

Si è operato in modo da avere per ogni indicatore di performance un confronto triangolare tra i modelli, nello specifico, *Stato di fatto Vs. HP1*, *Stato di fatto Vs. HP2* e *HP1 Vs. HP2*.

Paired-t Comparison of Means



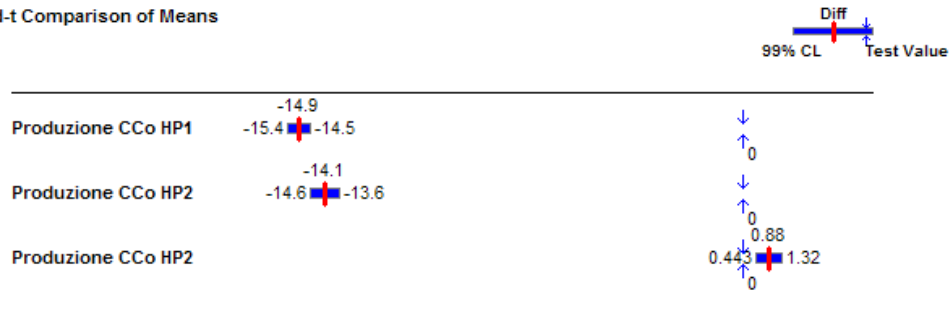
Paired-T Means Comparison :						
IDENTIFIER	ESTD. MEAN DIFFERENCE	STANDARD DEVIATION	0.990 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS
TapToTap HP1	3.31	0.227	0.0859			50
	REJECT H0 => MEANS ARE NOT EQUAL AT 0.01 LEVEL					50
TapToTap HP2	3.12	0.245	0.0929			50
	REJECT H0 => MEANS ARE NOT EQUAL AT 0.01 LEVEL					50
TapToTap HP2	-0.186	0.187	0.071			50
	REJECT H0 => MEANS ARE NOT EQUAL AT 0.01 LEVEL					50

Figura 91 - Confronto medie *Tap to Tap*

Dall'analisi risulta che le ipotesi di modifica consentirebbero di diminuire il *Tap to Tap* in media di ca. 3 minuti.

HP1 nel confronto con HP2 risulta essere leggermente meglio, ha un vantaggio di meno di un minuto.

Paired-t Comparison of Means



Paired-T Means Comparison :						
IDENTIFIER	ESTD. MEAN DIFFERENCE	STANDARD DEVIATION	0.990 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS
Produzione CCo HP1	-14.9	1.1	0.415			50
						50
	REJECT H0 => MEANS ARE NOT EQUAL AT 0.01 LEVEL					
Produzione CCo HP2	-14.1	1.33	0.504			50
						50
	REJECT H0 => MEANS ARE NOT EQUAL AT 0.01 LEVEL					
Produzione CCo HP2	0.88	1.15	0.437			50
						50
	REJECT H0 => MEANS ARE NOT EQUAL AT 0.01 LEVEL					

Figura 92 - Confronto medie *Produzione CCo*

L'analisi evidenzia che le modifiche all'impianto consentirebbero di aumentare la produzione mediamente di ca. 15 CCo/settimana.

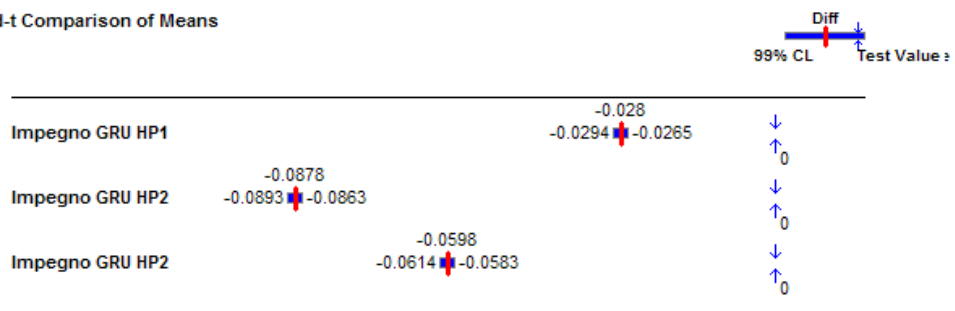
HP1 esce vincente dal confronto con HP2, producendo una colata in più in media a settimana, frutto del migliore tempo di spillata.

Il confronto sull'impegno del carro ponte mette in luce come l'aumento di produttività ricada sulla saturazione della GRU. La HP1 richiede un utilizzo della GRU maggiore mediamente di meno del 3% rispetto allo stato attuale, mentre la HP2 satura in media la GRU di ca. il 9% in più rispetto alla condizione attuale.

Di conseguenza, HP1 impegna mediamente la GRU di ca. il 6% in meno rispetto a HP2.

Da valutare con attenzione è la correlazione tra aumento di produzione e incremento di saturazione della GRU. Il 3% della HP1 è interessante sotto questo aspetto, poiché è legato a un aumento della produzione del ca. 7%. Preoccupante invece il 9% della HP2 che va di contro raffrontato con una crescita della produzione del 6,8% ca.

Paired-t Comparison of Means



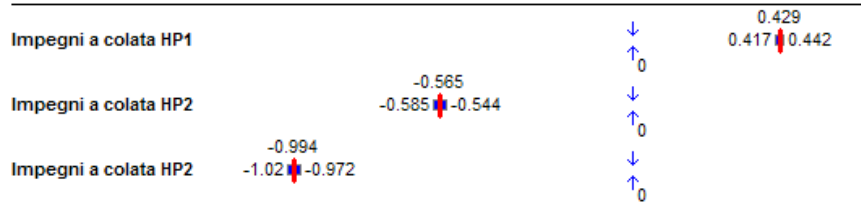
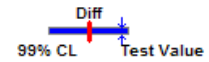
Paired-T Means Comparison :						
IDENTIFIER	ESTD. MEAN DIFFERENCE	STANDARD DEVIATION	0.990 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS
Impegno GRU HP1	-0.028	0.00373	0.00141			50
						50
	REJECT H0 => MEANS ARE NOT EQUAL AT 0.01 LEVEL					
Impegno GRU HP2	-0.0878	0.00394	0.00149			50
						50
	REJECT H0 => MEANS ARE NOT EQUAL AT 0.01 LEVEL					
Impegno GRU HP2	-0.0598	0.00404	0.00153			50
						50
	REJECT H0 => MEANS ARE NOT EQUAL AT 0.01 LEVEL					

Figura 93 - Confronto medie Saturazione GRU

Il risultato del confronto sul numero di impegni GRU a colata va a sostegno delle valutazioni espresse in precedenza e riferite all'aumento della saturazione del carro ponte.

La HP1 risulta essere il modello che impiega meno e meglio la GRU. Per ogni colata infatti, richiede l'utilizzo del carro ponte in media ca. 0,5 volte in meno rispetto a quello richiesto dall'impianto attuale e ca. una volta in meno in riferimento a HP2 .

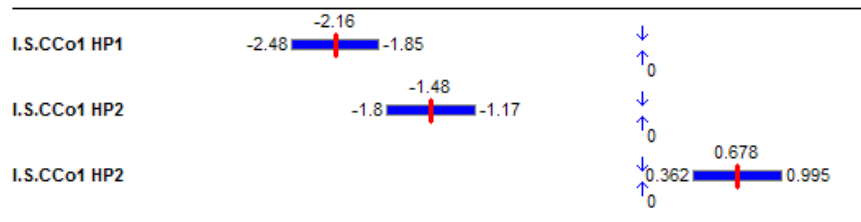
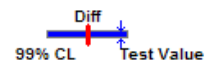
Paired-t Comparison of Means



Paired-T Means Comparison :						
IDENTIFIER	ESTD. MEAN DIFFERENCE	STANDARD DEVIATION	0.990 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS
Impegni a colata HP1	0.429	0.033	0.0125			50
						50
	REJECT H0 => MEANS ARE NOT EQUAL AT 0.01 LEVEL					
Impegni a colata HP2	-0.565	0.053	0.0201			50
						50
	REJECT H0 => MEANS ARE NOT EQUAL AT 0.01 LEVEL					
Impegni a colata HP2	-0.994	0.0565	0.0214			50
						50
	REJECT H0 => MEANS ARE NOT EQUAL AT 0.01 LEVEL					

Figura 94 - Confronto medie *Impegni a CCo*

Paired-t Comparison of Means



Paired-T Means Comparison :						
IDENTIFIER	ESTD. MEAN DIFFERENCE	STANDARD DEVIATION	0.990 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS
I.S.CCo1 HP1	-2.16	0.826	0.313			50
						50
	REJECT H0 => MEANS ARE NOT EQUAL AT 0.01 LEVEL					
I.S.CCo1 HP2	-1.48	0.842	0.319			50
						50
	REJECT H0 => MEANS ARE NOT EQUAL AT 0.01 LEVEL					
I.S.CCo1 HP2	0.678	0.835	0.316			50
						50
	REJECT H0 => MEANS ARE NOT EQUAL AT 0.01 LEVEL					

Figura 95 - Confronto medie Indice di sequenza CCo1

L'analisi evidenzia che le modifiche all'impianto consentirebbero di aumentare mediamente l'indice di sequenza di CCo1 di ca. 1,5 CCo/paniera per HP2 e di ca. 2,2 CCo/paniera per HP1.

HP1 risulta vincente dal confronto con HP2, garantendo un indice di sequenzialità superiore di ca. 0,5 CCo/paniera in media.

5.4.2 Scenario 2

Si è svolto un confronto diretto *HP1* Vs. *HP2*, in modo da avere per ogni indicatore di performance la conferma statistica della validità dei risultati.

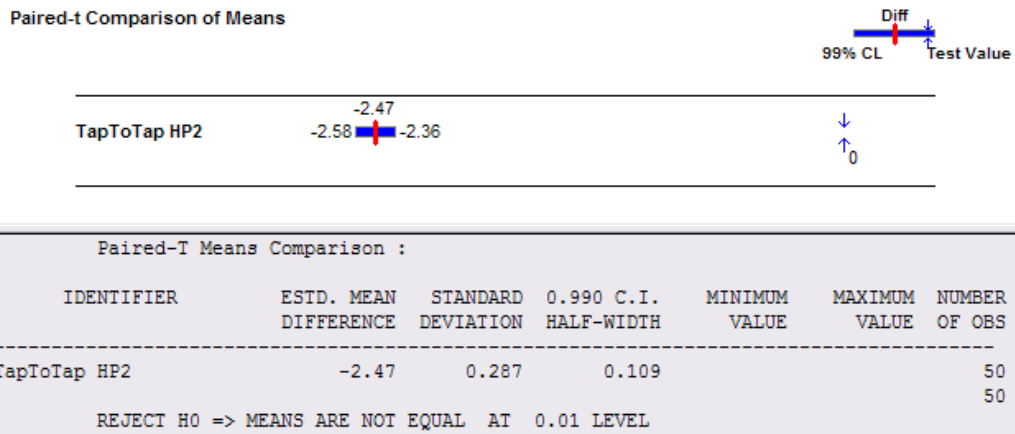


Figura 96 - Confronto medie *Tap to Tap*

La *HP1* nella gestione delle sole colate *VDS* mette in evidenza una maggiore flessibilità che si traduce in un *Tap to Tap* inferiore in media di ca. 2,5 minuti a spillata.

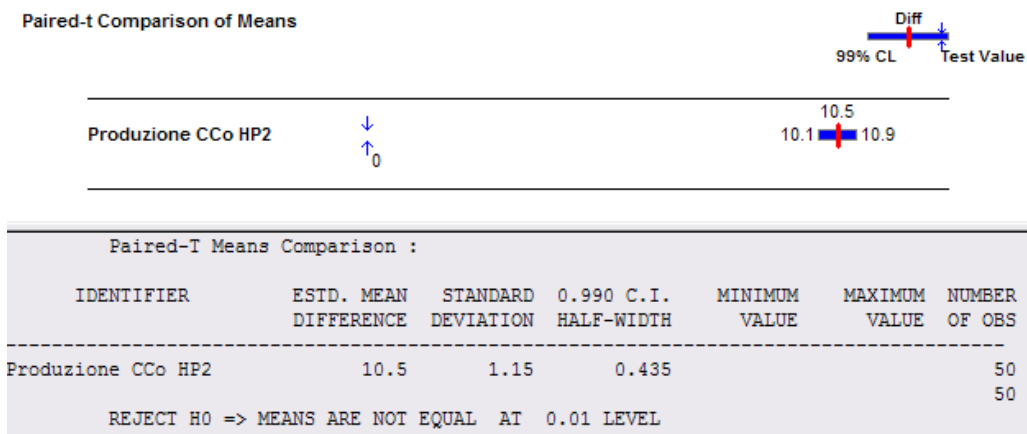


Figura 97 - Confronto medie *Produzione CCo*

Il migliore tempo di spillata di *HP1* si traduce in una produzione maggiore mediamente di ca. 10,5 *CCo*/settimana, pari a ca. 1,5 *CCo*/giorno.

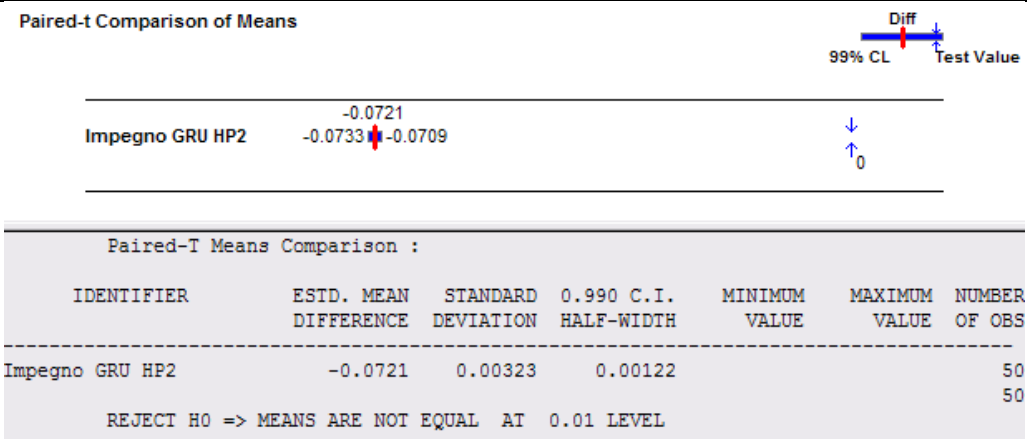


Figura 98 - Confronto medie Saturazione GRU

Come già visto per lo *Scenario 1*, HP1 richiede un utilizzo minore della GRU. Il caso di produzione di sole CCo VDS è quello che prevede il numero maggiore di movimentazioni. La forbice tra impegno richiesto da HP1 e HP2 aumenta ancora di più dello 1%, passando dal 6% scarso dello *Scenario 1*, fino al 7,2% dello *Scenario 2*.

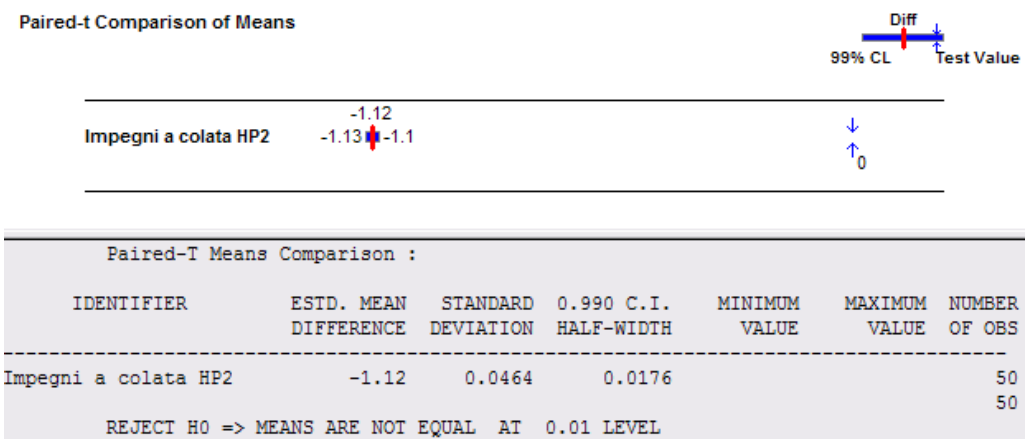


Figura 99 - Confronto medie Impegni a CCo

Di riflesso anche la differenza tra numero di impegni GRU per colata aumenta rispetto al primo scenario. Si passa dal ca. 1 impegno a CCo in più necessario per la HP2 nello *Scenario 1*, al ca. 1,2 necessario nello *Scenario 2*.

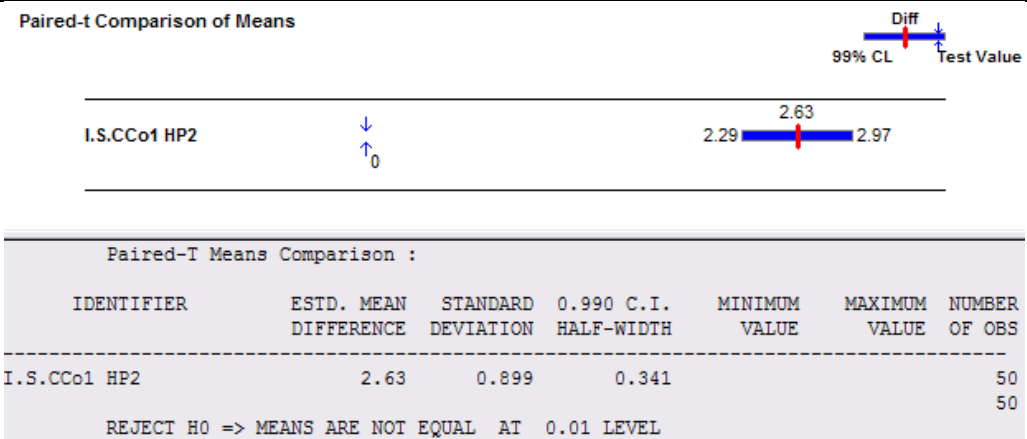


Figura 100 - Confronto medie *Indice di sequenza CCo1*

Il migliore tempo di spillata e il minor impiego della GRU consentono alla HP1 di garantire il continuo su CCo1 in modo più efficace. Anche per questo indicatore la forbice tra HP1 e HP2 si allarga passando da ca. 0,5 CCo/paniera a oltre 2,5 CCo/paniera.

5.5 Scelta ipotesi investimento

Le simulazioni hanno messo in evidenza come entrambe le modifiche d'impianto proposte rispondano all'esigenza di aumentare la produzione, sottolineando la maggior efficienza della ipotesi di modifica 1.

Più che un'analisi economica, per risolvere la questione legata alla scelta tra una proposta di modifica e l'altra, è necessario un approfondimento tecnico sulla gru di servizio.

In generale una gru risulta essere utilizzabile fino allo 80% rispetto al limite ipotetico del 100%, a causa del fatto di essere manovrata da un operatore.

Nella realtà produttiva di Dalmine, la gru non è impegnata solamente in movimentazioni direttamente collegate alla produzione, come nella simulazione, ma viene impiegata per una serie di operazioni extra processo, ma comunque necessarie, che quotidianamente possono arrivare ad assorbire il 20% della disponibilità della gru.

Sommando i risultati delle simulazioni al dato riferito all'impegno del carro ponte per attività extra processo, risulta che l'ipotesi di modifica 2 è al limite della capacità "possibile". HP2 infatti, per completare un ciclo di produzione, richiede un utilizzo maggiore della gru che, rispetto alla condizione attuale modellata, risulta essere superiore di ca. il 21%, contro il ca. 7% di HP1.

Si è deciso di eseguire una nuova simulazione, sia per HP1 che HP2, imponendo ai sistemi di produrre, a fronte di un invariato orizzonte temporale, il numero di colate medio generato dal modello dello stato di fatto.

Ne è emerso, come ci si aspettava dai dati precedenti, che HP1, a parità di colate movimentate, consentirebbe una diminuzione del carico di lavoro della gru nell'ordine dello 1,5%; HP2, al contrario, causerebbe un aumento dell'impegno del carro ponte di ca. il 5%.

Se si considera l'ipotesi che i modelli realizzati sottostimino l'utilizzo della gru, optando per l'ipotesi 2, potremmo trovarci nella condizione di faticare a sostenere l'attuale ritmo di produzione invece che migliorare le prestazioni dell'impianto.

HP2 non può essere presa in considerazione a meno di inserire nell'investimento anche un secondo carro ponte e l'assunzione degli operatori in grado di manovrarla nei tre turni giornalieri. Da valutare ora è l'impatto che un secondo carro ponte avrebbe sulla produzione. Il fatto di operare sulla medesima campata e il posizionamento delle stazioni di scorifica e ripristino siviere, limiterebbero i campi d'azione e d'impiego del secondo carro ponte. Per poter fruire dei benefici apportati al sistema dalla nuova gru, sembrerebbero necessari lo spostamento delle stazioni di scorifica e di ripristino o la realizzazione di due nuove stazioni, rispettivamente per la scorifica e il ripristino da dedicare esclusivamente alle siviere provenienti dalla macchina di colata 1, da eseguirsi all'estremità del capannone, oltre CCo1. Tralasciando l'eventualità di verificare la fattibilità e di quantificare il costo di queste ulteriori modifiche all'impianto necessarie per sfruttare al meglio HP2, si ritiene che l'ipotesi 1 sia la soluzione ottimale in termini di aumento di produttività e di flessibilità e, di conseguenza, l'unico investimento che razionalmente avrebbe senso compiere.

CAPITOLO 6
VALUTAZIONE INVESTIMENTO

6.1 Analisi costi/benefici

L'acciaieria produce barre d'acciaio, mentre il prodotto finito che genera fatturato sono tubi d'acciaio. Per valutare l'impatto dell'aumento di produzione dell'acciaieria è necessario analizzare tutto il processo della produzione di tubi, coinvolgendo anche i laminatoi.

L'incremento dovuto all'investimento è dipendente dalla domanda; di seguito è esposta l'ipotesi di saturare la capacità produttiva consentita dalla modifica d'impianto HP1. Nel paragrafo, *6.2 Analisi economica*, invece verranno indicate le relazioni tra aumento della domanda, fatturato e convenienza economica.

Dai dati del budget Tenaris Dalmine 2008-2009 è emerso che l'attuale capacità dell'acciaieria è in grado di soddisfare solo il 75% della domanda dei laminatoi e il restante 25% è necessario acquistarlo all'esterno.

Dati di budget 2008/2009	
Acciaio necessario ai laminatoi	QTA_{LamBDG}
Acciaio producibile in Dalmine	QTA_{AccBDG}
Rapporto $QTA_{AccBDG} / QTA_{LamBDG}$	75%
Acciaio da acquistare da concorrenti	25% QTA_{LamBDG}
Costo acquisto acciaio	CAE €/ton

Tabella 33 – Elementi essenziali per il calcolo dei costi

Successivamente si è calcolata la capacità annua ipotetica attraverso i risultati delle simulazioni ed è emerso che l'investimento consentirebbe di aumentare del ca. 4% la capacità produttiva dell'acciaieria in

ton/anno, riducendo di fatto del ca. 15% la quantità di barre d'acciaio da acquistare all'esterno. L'impianto così riconfigurato consentirebbe di coprire ca. lo 80% della domanda dei tre laminatoi, FAPI, FAS e FTM.

Riflessi riconfigurazione impianto

Acciaio producibile in Dalmine	1,04% QTA _{AccBDG}
Rapporto QTA _{AccBDG} / QTA _{LamBDG}	80%
Costo produzione interna	CPI €/ton

Tabella 34 – Elementi essenziali per il calcolo del vantaggio economico

Il vantaggio economico dell'investimento da valutare è l'eventuale convenienza economica di produrre a Dalmine la quantità massima possibile di acciaio piuttosto che acquistarlo da concorrenti.

Per avere margine di contribuzione positivo dalla produzione interna rispetto all'acquisto, deve essere:

$$\Delta C_{Acc} [\text{€/ton}] = CAE - CPI [\text{€/ton}]$$

$$\Delta C_{Acc} [\text{€/ton}] > 0$$

6.2 Analisi economica

Dopo avere introdotto a livello macroscopico il vantaggio economico generato dall'investimento per valutarne la bontà, si utilizzeranno due criteri:

1. *Pay Back Period* ¹⁵

$$PBP \rightarrow \sum_0^{PBP} \frac{FC(t)}{(1+i)^t} = 0$$

2. *Net Present Value* ¹⁶

$$NPV = \sum_{t=0}^t \frac{FC(t)}{(1+i)^t}$$

- t = durata dell'investimento, posta pari a 5 anni
- i = tasso di attualizzazione è stato posto pari al ca. 10%
- FC = flussi di cassa attualizzati

Come anticipato nel paragrafo precedente, l'analisi della convenienza economica è stata svolta in relazione alla possibilità di saturare o meno la capacità produttiva aggiuntiva che la modifica dell'impianto garantirebbe.

L'utilizzo del Pay Back Period pone il primo vincolo alla convenienza economica dell'investimento. Come emerge dal grafico di *Figura 101* infatti, la modifica dell'impianto si ripaga entro l'orizzonte temporale fissato purchè sia garantita una saturazione della capacità aggiuntiva superiore al 40% durante tutto il periodo di riferimento.

¹⁵ Periodo di tempo necessario per recuperare il capitale investito.

¹⁶ Valore attualizzato dei flussi di cassa netti generati dall'investimento.

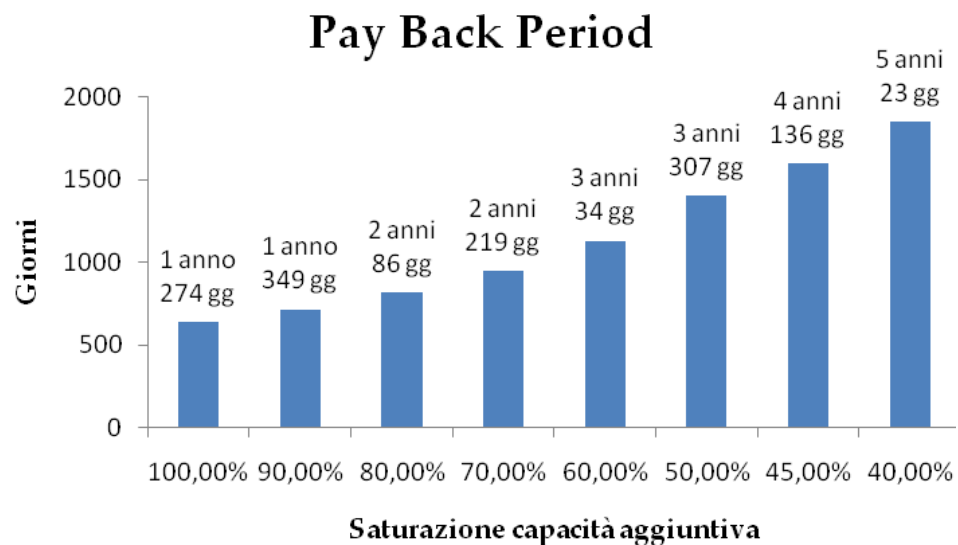


Figura 101 – Grafico del PBP dell'investimento al variare della extra produzione saturata

Il criterio del Net Present Value permette di evidenziare l'andamento dei flussi di cassa durante la durata dell'investimento.

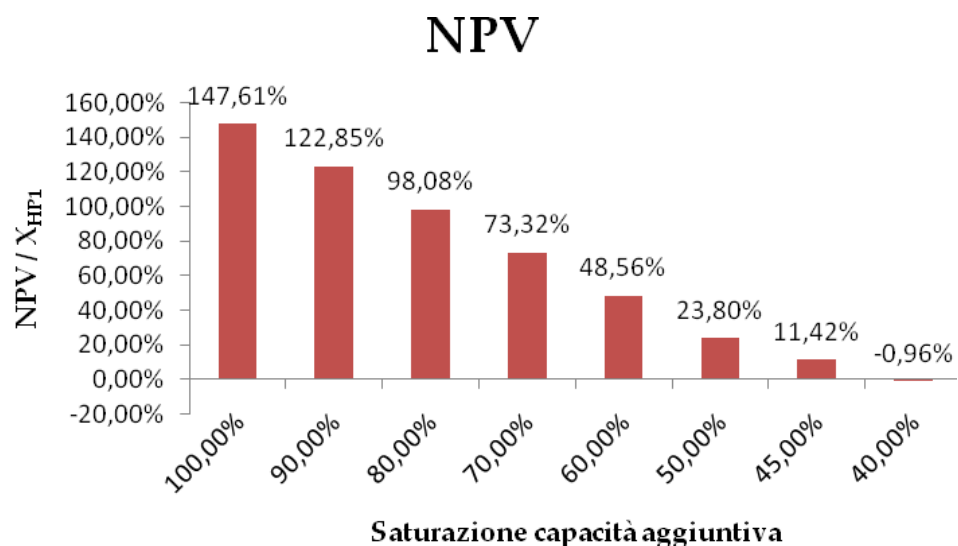


Figura 102 – Grafico dello NPV dell'investimento al variare della extra produzione saturata

Lo NPV resta positivo fino a una percentuale del 40,4%; al di sotto di questo limite, l'investimento non

viene ripagato durante l'orizzonte temporale fissato. I flussi di cassa¹⁷ variano considerevolmente in funzione della saturazione:

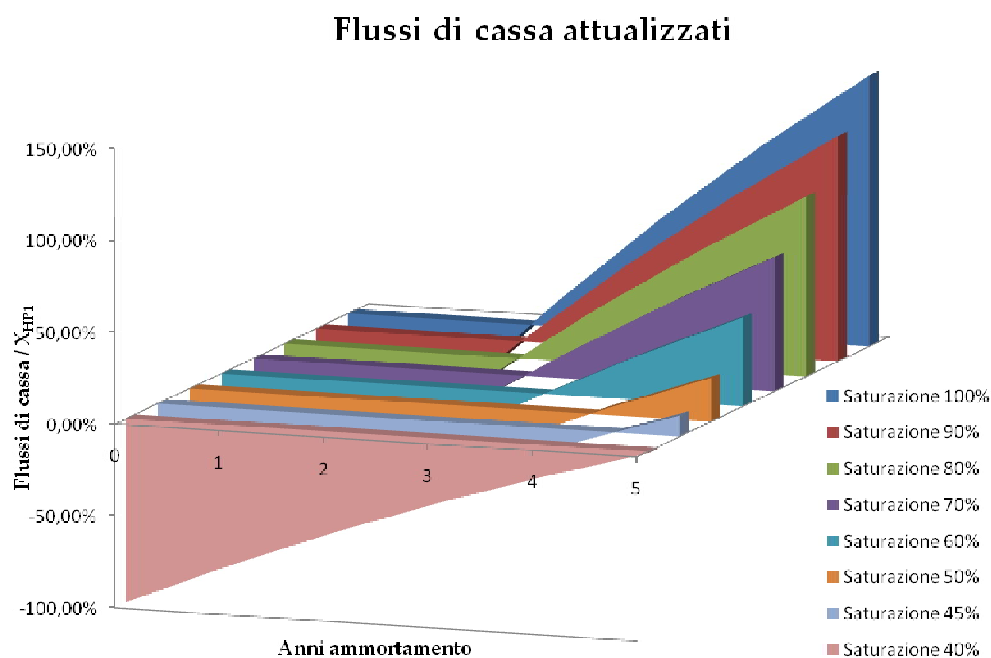


Figura 103 – Grafico flussi di cassa in funzione della saturazione

Flussi di cassa						
	0	1	2	3	4	5
100%	-100,00%	-40,62%	13,36%	62,44%	107,05%	147,61%
90%	-100,00%	-46,56%	2,03%	46,19%	86,34%	122,85%
80%	-100,00%	-52,50%	-9,31%	29,95%	65,64%	98,08%
70%	-100,00%	-58,43%	-20,65%	13,70%	44,93%	73,32%
60%	-100,00%	-64,37%	-31,98%	-2,54%	24,23%	48,56%
50%	-100,00%	-70,31%	-43,32%	-18,78%	3,52%	23,80%
45%	-100,00%	-73,28%	-48,99%	-26,90%	-6,83%	11,42%
40%	-100,00%	-76,25%	-54,66%	-35,03%	-17,18%	-0,96%

Tabella 35 - Flussi di cassa in funzione della saturazione

¹⁷ I dati esposti nei grafici sono riportati come percentuale rispetto al costo dell'investimento.

6.3 Considerazioni investimento

Riconsiderando l'analisi effettuata, vale la pena di spendere una piccola riflessione riguardo alla quantità di acciaio liquido realmente producibile dal forno.

La possibilità di saturare tutta la produzione aggiuntiva risulta essere troppo ottimistica, quasi utopica. Analizzando il profilo di disponibilità del forno e l'attuale saturazione, si è deciso unitamente al coordinatore di PIIN (pianificazione industriale) dell'acciaiera di porre come limite della capacità aggiuntiva il 50% di quella riscontrata per mezzo delle simulazioni. In questo modo, l'investimento rientrerebbe durante il quarto anno e garantirebbe un ritorno economico, entro il quinto, pari a ca. il 24% di X_{HP1} .

Considerando il forno come collo di bottiglia, si limita la redditività dell'investimento, e lo si valuta nella peggiore delle ipotesi. Ci si pone in una condizione di minor rischio, con ampi margini di crescita e rientro anticipato dell'investimento.

Riflessi limitazione saturazione forno	
Acciaio necessario ai laminatoi	QTA_{LamBDG}
Acciaio producibile in Dalmine	QTA_{AccBDG}
Rapporto $QTA_{AccBDG} / QTA_{LamBDG}$	78%
Acciaio da acquistare da concorrenti	22% QTA_{LamBDG}

Tabella 36 – Quantità stabilite per l'investimento

Il tasso d'interesse utilizzato per l'attualizzazione dei flussi di cassa merita un'altra riflessione. I vertici di Tenaris considerano come tasso barriera il 10%, dato decisamente penalizzante per la redditività.

Si è realizzata un'analisi di sensitività, cercando di mettere in luce come l'utilizzo di valori dei tassi di sconto più in linea con quelli di mercato evidenziassero la bontà dell'investimento. Come era prevedibile, l'impiego di tassi inferiori ha ridotto il Payback Period, mentre ha incrementato la redditività dell'investimento.

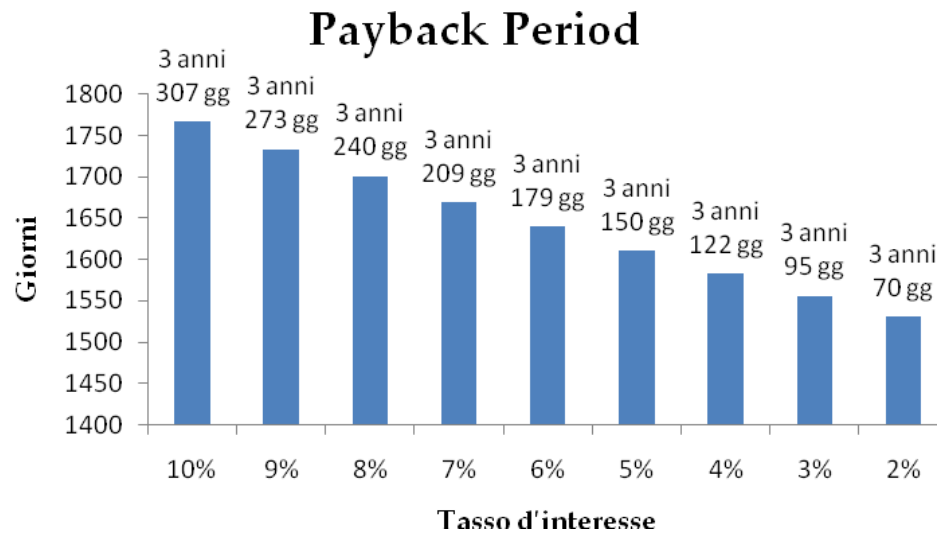


Figura 104 - Grafico PBP in funzione dei tassi, con saturazione al 50%

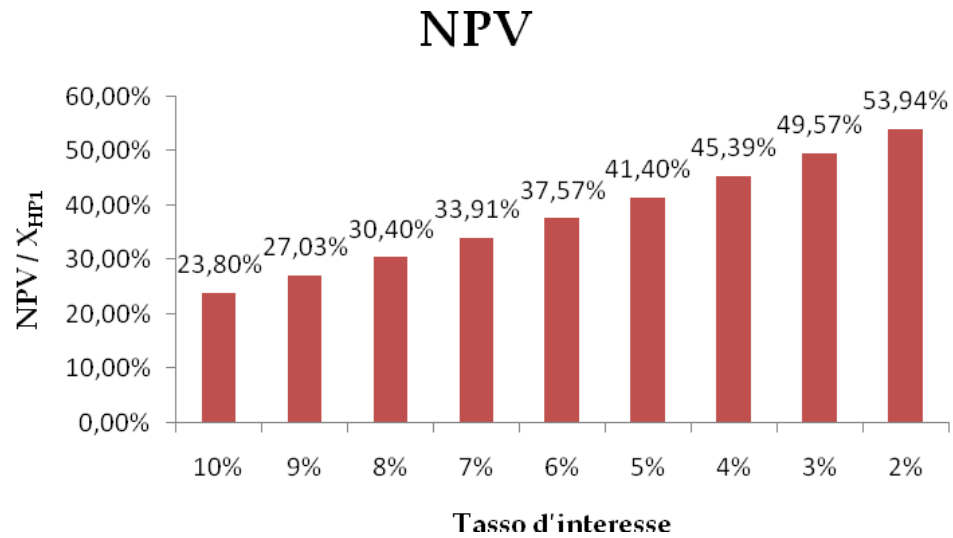


Figura 105 - Grafico NPV in funzione dei tassi, con saturazione al 50%

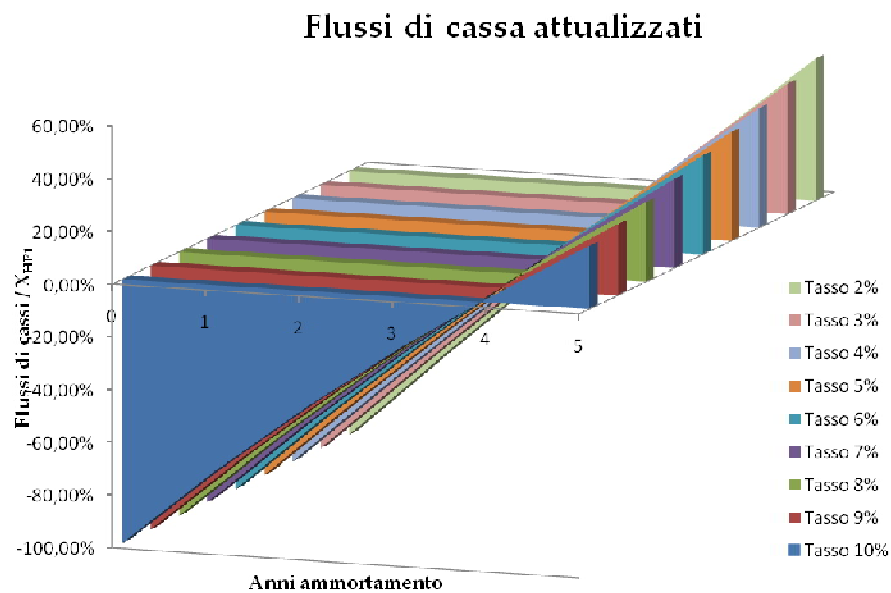


Figura 106 - Grafico flussi di cassa in funzione dei tassi, con saturazione al 50%

Flussi di cassa						
	0	1	2	3	4	5
10%	-100,00%	-70,31%	-43,32%	-18,78%	3,52%	23,80%
9%	-100,00%	-70,04%	-42,55%	-17,33%	5,81%	27,03%
8%	-100,00%	-69,76%	-41,76%	-15,83%	8,17%	30,40%
7%	-100,00%	-69,48%	-40,95%	-14,29%	10,62%	33,91%
6%	-100,00%	-69,19%	-40,12%	-12,70%	13,17%	37,57%
5%	-100,00%	-68,90%	-39,27%	-11,06%	15,81%	41,40%
4%	-100,00%	-68,60%	-38,40%	-9,37%	18,55%	45,39%
3%	-100,00%	-68,29%	-37,51%	-7,62%	21,40%	49,57%
2%	-100,00%	-67,98%	-36,59%	-5,82%	24,36%	53,94%

Tabella 37 - Flussi di cassa in funzione dei tassi, con saturazione al 50%

CAPITOLO 7
CONSIDERAZIONI FINALI

7.1 Scenari ipotetici futuri

L'intervento sulla "metallurgia secondaria" è stato preso in considerazione in un periodo particolarmente favorevole a Tenaris e dettato dall'esigenza di incrementare la produzione dell'acciaieria e dare maggiore flessibilità al processo per fronteggiare la crescente domanda del mercato. Sotto questa spinta è stato ipotizzato un ulteriore investimento che consentirebbe di incrementare notevolmente il volume di produzione dell'acciaieria. Una modifica della macchina di colata 1 garantirebbe un aumento della velocità di colata di ca. il 7%.

Si è simulata anche questa modifica all'impianto e si è constatato che tale intervento permetterebbe all'acciaieria di Dalmine di aumentare la capacità produttiva di un ulteriore ca. 5%, che, sommato al contributo ottenuto dal nuovo flusso di produzione dell'impianto, permetterebbe una crescita di ca. il 10% rispetto al budget 2008/2009.

Anche questo investimento, di pari entità economica rispetto a quello in esame, sotto l'ipotesi di poter sfruttare almeno il ca. 50% della capacità produttiva aggiuntiva, sarebbe ripagato entro il termine dei 5 anni.

Oggi, il mutato scenario economico finanziario e la profonda crisi che ha investito in particolare i settori petrolifero e automobilistico, business fondamentali per Tenaris, costringono alla cautela.

Si è passati da uno scenario di necessità di acquisto all'esterno, sino alla situazione attuale, di sovra eccedenza della produzione.

Il difficile momento che colpisce la stragrande maggioranza dei settori produttivi non permette di programmare nel breve termine un investimento come questo, volto all'aumento della produzione.

Auspicando con l'anno nuovo una ripresa dei mercati, si presuppone che questo investimento possa essere riproposto nel budget 2009/2010 ed eventualmente realizzato durante la fermata estiva del luglio/agosto 2010.

7.2 Conclusioni

La simulazione si è confermata un potente strumento da utilizzare nella pianificazione industriale. La possibilità di poter ricostruire il processo reale attraverso un software, permettendo di studiare e analizzare come eventuali modifiche andrebbero a inficiare o migliorare il flusso di produzione, ha una rilevanza strategica.

La realizzazione di un modello affidabile e coerente con la realtà è la base di partenza e non un punto d'arrivo.

La simulazione è utile per implementare modifiche all'impianto, ma può essere impiegato anche nella gestione della produzione quotidianamente:

- ❑ variare le regole di dispatching
- ❑ modificare il mix di produzione
- ❑ simulare guasti

Questi sono solo alcuni degli infiniti scenari possibili che chi gestisce la produzione potrebbe essere interessato a verificare.

Investire nella simulazione richiede tempo per la messa a punto e la verifica dei modelli ma, ottenuto un prodotto stabile e robusto, i campi d'impiego per l'azienda sono i più disparati. Anche in termini economici, sperimentare la gestione della produzione su un personal computer è sicuramente meno dispendioso che testare direttamente sull'impianto.

I modelli realizzati durante questo progetto, potrebbero essere ulteriormente sviluppati in modo da

essere impiegati nella pianificazione delle campagne di produzione.

Ciò che attualmente i modelli non prevedono, e che potrebbe essere oggetto di ulteriore approfondimento, è la possibilità, ricevuto l'ordine di fabbricazione, di scegliere autonomamente la sequenza di colate da eseguire.

APPENDICE
SIMULAZIONE IN ARENA

Simulation refers to a broad collection of methods and applications to mimic the behavior of real systems, usually on a computer with appropriate software. In fact, "simulation" can be an extremely general term since the idea applies across many fields, industries, and applications. These days, simulation is more popular and powerful than ever since computers and software are better than ever.

A.1 What's Being Modeled?

Computer simulation deals with models of systems. A *system* is a facility or process, either actual or planned, such as:

- A manufacturing plant with machines, people, transport devices, conveyor belts, and storage space.
- A bank or other personal-service operation, with different kinds of customers, servers, and facilities like teller windows, automated teller machines (ATMs), loan desks, and safety deposit boxes.
- A distribution network of plants, warehouses, and transportation links.
- An emergency facility in a hospital, including personnel, rooms, equipment, supplies, and patient transport.
- A field service operation for appliances or office equipment, with potential customers scattered across a geographic area, service technicians with different qualifications, trucks with different parts and tools, and a central depot and dispatch center.
- A computer network with servers, clients, disk drives, tape drives, printers, networking capabilities, and operators.

- ❑ A freeway system of road segments, interchanges, controls, and traffic.
- ❑ A central insurance claims office where a lot of paperwork is received, reviewed, copied, filed, and mailed by people and machines.
- ❑ A criminal justice system of courts, judges, support staff, probation officers, parole agents, defendants, plaintiffs, convicted offenders, and schedules.
- ❑ A chemical products plant with storage tanks, pipelines, reactor vessels, and railway tanker cars in which to ship the finished product.
- ❑ A fast-food restaurant with workers of different types, customers, equipment, and supplies.
- ❑ A supermarket with inventory control, checkout, and customer service.
- ❑ A theme park with rides, stores, restaurants, workers, guests, and parking lots.
- ❑ The response of emergency personnel to the occurrence of a catastrophic event.

People often study a system to measure its performance, improve its operation, or design it if it doesn't exist. Managers or controllers of a system might also like to have a readily available aid for day-to-day operations, like help in deciding what to do in a factory if an important machine goes down. We're even aware of managers who requested that simulations be constructed but didn't really care about the final results. Their primary goal was to focus attention on understanding how their system currently worked. Often simulation analysts find that the process of defining how the system works, which must be done before you can start developing the simulation model, provides great insight into what changes need to be made. Part of this is due to the fact

that rarely is there one individual responsible for understanding how an entire system works. There are experts in machine design, material handling, processes, etc., but not in the day-to-day operation of the system. So as you read on, be aware that simulation is much more than just building a model and conducting a statistical experiment. There is much to be learned at each step of a simulation project, and the decisions you make along the way can greatly affect the significance of your findings.

A.2 Physical Models

There are lots of different kinds of models. Maybe the first thing the word evokes is a physical replica or scale model of the system, sometimes called an *iconic* model. For instance:

- ❑ People have built *tabletop* models of material handling systems that are miniature versions of the facility, not unlike electric train sets, to consider the effect on performance of alternative layouts, vehicle routes, and transport equipment.
- ❑ A full-scale version of a fast-food restaurant placed inside a warehouse to experiment with different service procedures was described by Swart and Donno (198 1). In fact, most large fast-food chains now have full-scale restaurants in their corporate office buildings for experimentation with new products and services.
- ❑ Simulated control rooms have been developed to train operators for nuclear power plants.
- ❑ Physical flight simulators are widely used to train pilots. There are also flight simulation computer programs, with which you may be familiar in game form, that represent purely logical models executing

inside a computer. Further, physical flight simulators might have computer screens to simulate airport approaches, so they have elements of both physical and computer-simulation models.

Although iconic models have proven useful in many areas, we won't consider them.

A.3 Logical (or Mathematical) Models

Instead we'll consider *logical* (or *mathematical*) models of systems. Such a model is just a set of approximations and assumptions, both structural and quantitative, about the way the system does or will work.

A logical model is usually represented in a computer program that's exercised to address questions about the model's behavior; if your model is a valid representation of your system, you hope to learn about the system's behavior too. And since you're dealing with a mere computer program rather than the actual system, it's usually easy, cheap, and fast to get answers to a lot of questions about the model and system by simply manipulating the program's inputs and form. Thus, you can make your mistakes on the computer where they don't count, rather than for real where they do. As in many their fields, recent dramatic increases in computing power (and decreases in computing costs) have impressively advanced your ability to carry out computer analyses of logical models.

A.4 Different Kinds of Simulations

There are a lot of ways to classify simulation models, but one useful way is along these three dimensions:

- ❑ **Static vs. Dynamic:** Time doesn't play a natural role in static models but does in dynamic models. Most operational models are dynamic; Arena was designed with them in mind, so our primary focus will be on such models.
- ❑ **Continuous vs. Discrete:** In a continuous model, the state of the system can change continuously over time; an example would be the level of a reservoir as water flows in and is let out, and as precipitation and evaporation occur. In a discrete model, though, change can occur only at separated points in time, such as a manufacturing system with parts arriving and leaving at specific times, machines going down and coming back up at specific times, and breaks for workers. You can have elements of both continuous and discrete change in the same model, which are called mixed continuous-discrete models; an example might be a refinery with continuously changing pressure inside vessels and discretely occurring shutdowns. Arena can handle continuous, discrete, and mixed models, but our focus will be on the discrete.
- ❑ **Deterministic vs. Stochastic:** Models that have no random input are deterministic; a strict appointment-book operation with fixed service times would be an example. Stochastic models, on the other hand, operate with random input-like a bank with randomly arriving customers requiring varying service times. A model can have both deterministic and random inputs in different components; which elements are modeled as deterministic and which as random are issues of modeling realism. Arena easily handles deterministic and stochastic inputs to models and provides many

different probability distributions and processes that you can use to represent the random inputs. Since we feel that at least some element of uncertainty is usually present in reality, most of our illustrations will involve random inputs somewhere in the model. As noted earlier, though, stochastic models produce uncertain output, which is a fact you must consider carefully in designing and interpreting the runs in your project.

A.5 How Simulations Get Done

If you've determined that a simulation of some sort is appropriate, you next have to decide how to carry it out. In this section, we'll discuss options for running a simulation, including software.

A.5.1 General-Purpose Languages

As digital computers appeared in the 1950s and 1960s, people began writing computer programs in general-purpose procedural languages like FORTRAN to do simulations of more complicated systems. Support packages were written to help out with routine chores like list processing, keeping track of simulated events, and statistical bookkeeping.

This approach was highly customizable and flexible (in terms of the kinds of models and manipulations possible), but also painfully tedious and error-prone since models had to be coded pretty much from scratch every time. (Plus, if you dropped your deck of cards, it could take quite a while to reconstruct your "model.") For a more detailed history of discrete-event simulation languages, see Nance (1996).

A.5.2 Simulation Languages

Special-purpose *simulation languages* like GPSS, SIMSCRIPT, SLAM, and SIMAN appeared on the scene some time later and provided a much better framework for the kinds of simulations many people do. Simulation languages have become very popular and are in wide use.

Nonetheless, you still have to invest quite a bit of time to learn about their features and how to use them effectively. And, depending on the user interface provided there can be picky, apparently arbitrary, and certainly frustrating syntactical idiosyncrasies that bedevil even old hands.

A.5.3 High-Level Simulators

Thus, several high-level "simulator7" products emerged that are indeed very easy to use. They typically operate by intuitive graphical user interfaces, menus, and dialogs. You select from available simulation-modeling constructs, connect them, and run the model along with a dynamic graphical animation of system components as they move around and change. However, the domains of many simulators are also rather restricted (like manufacturing or communications) and are generally not as flexible as you might like in order to build valid models of your systems. Some people feel that these packages may have gone too far up the software-hierarchy food chain and have traded away too much flexibility to achieve the ease-of-use goal.

A.5.4 Where Arena Fits In

Arena combines the ease of use found in high-level simulators with the flexibility of simulation languages, and

even all the way down to general-purpose procedural languages like the Microsoft Visual Basic programming system or C if you really want. It does this by providing alternative and interchangeable *templates* of graphical simulation modeling-and-analysis *modules* that you can combine to build a fairly wide variety of simulation models. For ease of display and organization, modules are typically grouped into *panels* to compose a template. By switching panels, you gain access to a whole different set of simulation modeling constructs and capabilities. In most cases, modules from different panels can be mixed together in the same model. Arena maintains its modeling flexibility by being fully *hierarchical*, as depicted in Figure A1. At any time, you can pull in low-level modules from the Blocks and Elements panel and gain access to simulation-language flexibility if you need to and mix in SIMAN constructs together with the higher-level modules from another template. For specialized needs, like complex decision algorithms or accessing data from an external application, you can write pieces of your model in a procedural language like Visual Basic or C/C++. All of this, regardless of how high or low you want to go in the hierarchy, takes place in the same consistent graphical user interface. In fact, the modules in Arena are composed of SIMAN components; you can create

your own modules and collect them into your own templates for various classes of systems. For instance, Rockwell Software (formerly Systems Modeling) has built templates for general modeling, business-process re-engineering, call centers, and other industries. Other people have built templates for their company in industries as diverse as mining, auto manufacturing, fast-food, and forest-resource

management. In this way, you don't have to compromise between modeling flexibility and ease of use.

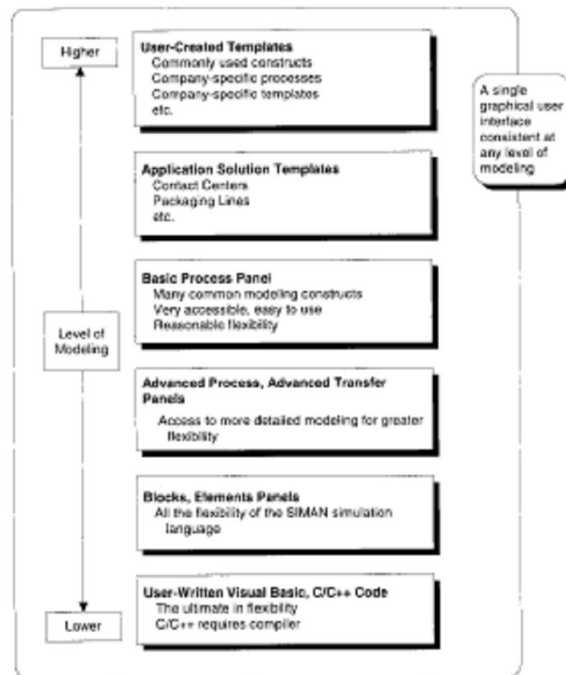


Figura A-107

Further, Arena includes dynamic animation in the same work environment. It also provides integrated support, including graphics, for some of the statistical design and analysis issues that are part and parcel of a good simulation study.

A.6 When Simulations Are Used

Just as the capabilities and sophistication of simulation languages and packages have increased dramatically over the last 40 years, the concept of how and when to use simulation has changed.

A.6.1 The Early Years

In the late 1950s and 1960s, simulation was a very expensive and specialized tool that was generally used only by large corporations that required large capital investments. Typical simulation users were found in steel and aerospace corporations. These organizations would form groups of six to 12 people, mostly Ph.D.s, who would develop large, complex simulation models using available languages, such as FORTRAN. These models would then be run on large mainframes charging from \$600 to \$1,000 per hour. Interestingly, the PCs that reside on most engineers' desks today are probably much more powerful and certainly much faster than the mainframes of the 1960s.

A.6.2 The Formative Years

The use of simulation as we know it today began during the 1970s and early 1980s. Computers were becoming faster and cheaper, and the value of simulation was being discovered by other industries, although most of the companies were still quite large. However, simulation was seldom considered until there was a disaster. It became the tool of choice for many companies, notably in the automotive and heavy industries, for determining why the disaster occurred and sometimes, where to point the finger of blame. We recall the startup of an automotive assembly line, an investment of over \$100 million, that was not achieving its full, or even partial, potential. The line was producing a newly released vehicle that was in great demand-far greater than could be satisfied by the existing output of the line. Management appointed a S.W.A.T. team to analyze the problem, and that team quickly estimated the lost potential

profit to be in excess of \$500,000 per day. The team was told, "Find the problem and fix it." In about three weeks, a simulation was developed and used to identify the problem, which turned out not to have been on the initial suspect list. The line was ultimately modified and did produce according to specifications; unfortunately, by that time the competition was producing similar vehicles, and the additional output was no longer needed. Ironically, a simulation model had been used during the design of the assembly line to determine its feasibility. Unfortunately, many of the processes were new, and engineering had relied on equipment vendors to provide estimates of failures and throughputs. As is often the case, the vendors were extremely optimistic in their estimates. If the original design team had used the simulation to perform a good sensitivity analysis on these questionable data, the problem might have been uncovered and resolved well before implementation. During this time, simulation also found a home in academia as a standard part of industrial engineering and operations research curricula. Its growing use in industry compelled universities to teach it more widely. At the same time, simulation began to reach into quantitative business programs, broadening the number and type of students and researchers exposed to its potential.

A.6.3 The Recent Past

During the late 1980s, simulation began to establish its real roots in business. A large part of this was due to the introduction of the personal computer and animation. Although simulation was still being used to analyze failed systems, many people were requesting simulations before

production was to begin. (However, in most cases, it was really too late to affect the system design, but it did offer the plant manager and system designer the opportunity to spruce up their resumes.) By the end of the 1980s, the value of simulation was being recognized by many larger firms, several of which actually made simulation a requirement before approval of any major capital investment. However, simulation was still not in widespread use and was rarely used by smaller firms.

A.6.4 The Present

Simulation really began to mature during the 1990s. Many smaller firms embraced the tool, and it began to see use at the very early stages of projects-where it could have the greatest impact. Better animation, ease of use, faster computers, easy integration with other packages, and the emergence of simulators have all helped simulation become a standard tool in many companies. Although most managers will readily admit that simulation can add value to their enterprise, it has yet to become a standard tool that resides on everyone's computers. The manner in which simulation is used is also changing; it is being employed earlier in the design phase and is often being updated as changes are made to operating systems. This provides a living simulation model that can be used for systems analysis on very short notice. Simulation has also invaded the service industry where it is being applied in many non-traditional areas. The major impediments preventing simulation from becoming a universally accepted and well-utilized tool are model-development time and the modeling skills required for the development of a successful simulation.

A.6.5 The Future

The rate of change in simulation has accelerated in recent years, and there is every reason to believe that it will continue its rapid growth and cross the bridges to mainstream acceptance. Simulation software has taken advantage of new operating systems to provide greater ease of use, particularly for the first-time user. This trend must continue if simulation is to become a state-of-the-art tool resident on every systems-analysis computer. These new operating systems have also allowed for greater integration of simulation with other packages (like spreadsheets, databases, and word processors). It is now becoming possible to foresee the complete integration of simulation with other software packages that collect, store, and analyze system data at the front end along with software that helps control the system at the back end. In order to make simulation easier to use by more people, we will see more vertical products aimed at very specific markets. This will allow analysts to construct simulations easily, using modeling constructs designed for their industry or company with terminology that directly relates to their environment. These may be very specialized tools designed for very specific environments, but they should still have the capability to model any system activities that are unique to each simulation project. Some of these types of products are on the market today in application areas such as communications, semiconductors, call centers, and business-process re-engineering. Today's simulation projects concentrate on the design or redesign of complex systems. They often must deal with complex system-control issues, which can lead to the development of

new system-control logic that is tested using the developed simulation. The next logical step is to use that same simulation to control the real system (Wysk, Smith, Sturrock, Ramaswamy, Smith, and Joshi, 1994). This approach requires that the simulation model be kept current, but it also allows for easy testing of new system controls as the system or products change over time. As we progress to this next logical step, simulations will no longer be disposable or used only once, but will become a critical part of the operation of the ongoing system. With the rapid advances being made in computers and software, it is very difficult to predict much about the simulations of the distant future, but even now we are seeing the development and implementation of features such as automatic statistical analysis, software that recommends system changes, simulations totally integrated with system operating software, and yes, even virtual reality.

A.7 Pieces of a Simulation Model

We'll talk about the various parts of a simulation model in this section.

A.7.1 Entities

Most simulations involve "players" called *entities* that move around, change status, affect and are affected by other entities and the state of the system, and affect the output performance measures. Entities are the *dynamic* objects in the simulation—they usually are created move around for a while, and then are disposed of as they leave. It's possible, though, to have entities that never leave but just keep circulating in the system. However, all entities have to be created, either by

you or automatically by the software. Most entities represent "real" things in a simulation. You can have lots of different kinds of entities and many realizations of each kind of entity existing in the model at a time. For instance, you could have several different *kinds* of parts, perhaps requiring different processing and routing and having different priority; moreover, there could be several realizations of each kind of part floating around in the model at a time. There are situations, though, where "fake" entities not corresponding to anything tangible can be conjured up to take care of certain modeling operations. For instance, one way to model machine failures is to create a "breakdown demon" that lurks in the shadows during the machine's up time, runs out and kicks the machine when it's supposed to break down, stands triumphantly over it until it gets repaired then scurries back to the shadows and begins another lurking period representing the machine's next up time. A similar example is a "break angel" that arrives periodically and takes a server off duty. Figuring out what the entities are is probably the first thing you need to do in modeling a system.

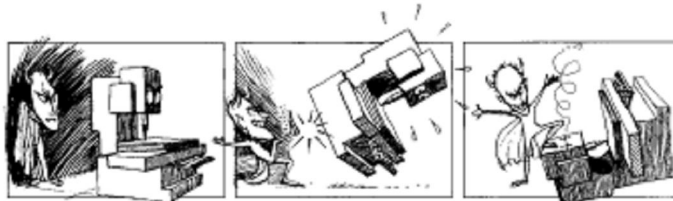


Figure 2-2, A Victorious Breakdown Demon

A.7.2 Attributes

To individualize entities, you attach *attributes* to them. An attribute is a common characteristic of all entities, but with a specific value that can differ from one entity to another. It's up to you to figure out what attributes your entities need

name them, assign values to them, change them as appropriate, and then use them when it's time (that's all part of modeling). The most important thing to remember about attributes is that their values are tied to specific entities. The same attribute will generally have different values for different entities, just as different parts have different due dates, priorities, and color codes. Think of an attribute as a tag attached to each entity, but what's written on this tag can differ across entities to characterize them individually. An analogy to traditional computer programming is that attributes are local variables—in this case, local to each individual entity. Arena keeps track of some attributes automatically, but you may need to define, assign values to, change, and use attributes of your own.

A.7.3 (Global) Variables

A *variable* (or a *global variable*) is a piece of information that reflects some characteristic of your system, regardless of how many or what kinds of entities might be around. You can have many different variables in a model, but each one is unique. There are two types of variables: Arena built-in variables (number in queue, number of busy resources, simulation time, etc.) and user-defined variables (number in system, current shift, etc.). In contrast to attributes, variables are not tied to any specific entity, but rather pertain to the system at large. They're accessible by all entities, and many can be changed by any entity. If you think of attributes as tags attached to the entities currently floating around in the room, then think of variables as (erasable) writing on the wall. Variables are used for lots of different purposes. For instance, the time to move between any two stations in a

model might be the same throughout the model, and a variable called Transfer Time could be defined and set to the appropriate value and then used wherever this constant is needed; in a modified model where this time is set to a different constant, you'd only need to change the definition of Transfer Time to change its value throughout the model. Variables can also represent something that changes *during* the simulation, like the number of parts in a certain subassembly area of the larger model, which is incremented by a part entity when it enters the area and decremented by a part when it leaves the area. Arena Variables can be vectors or matrices if it is convenient to organize the information as lists or 2-dimensional tables of individual values.

A.7.4 Resources

Entities often compete with each other for service from *resources* that represent things like personnel, equipment, or space in a storage area of limited size. An entity *seizes* (units of) a resource when available and releases it (or them) when finished. It's better to think of the resource as being given to the entity rather than the entity being assigned to the resource since an entity (like a part) could need simultaneous service from multiple resources (such as a machine and a person). A resource can represent a group of several individual servers, each of which is called a *unit* of that resource. This is useful to model, for instance, several identical "parallel" agents at an airline ticketing counter. The number of available units of a resource can be changed during the simulation run to represent agents going on break or opening up their stations if things get busy. If a resource has multiple units, or a variable number of units, we have to

generalize our definition of resource utilization to be the time-average number of units of the resource that are busy, divided by the time-average number of units of the resource that are available.

A.7.5 Queues

When an entity can't move on, perhaps because it needs to seize a unit of a resource that's tied up by another entity, it needs a place to wait, which is the purpose of a *queue*. In Arena, queues have names and can also have capacities to represent, for instance, limited floor space for a buffer. You'd have to decide as part of your modeling how to handle an entity arriving at a queue that's already full.

A.7.6 Statistical Accumulators

To get your output performance measures, you have to keep track of various intermediate statistical-accumulator variables as the simulation progresses. Arena takes care of most of the statistical accumulation you're likely to want, so most of this will be invisible to you except for asking for it in some situations. But in our hand simulation, we'll do it all manually so you can see how it goes.

A.7.7 Events

Now let's turn to how things work when we run our model. Basically, everything's centered around events. An event is something that happens at an instant of (simulated) time that might change attributes, variables, or statistical accumulators. To execute, a simulation has to keep track of

the events that are supposed to happen in the (simulated) future. In Arena, this information is stored in an event calendar. We won't get into the details of the event calendar's data structure, but here's the idea: When the logic of the simulation calls for it, a record of information for a future event is placed on the event calendar. This event record contains identification of the entity involved, the event time, and the kind of event it will be. Arena places each newly scheduled event on the calendar so that the next (soonest) event is always at the top of the calendar (i.e., the new event record is *sorted* onto the calendar in increasing order of event times). When it's time to execute the next event, the top record is removed from the calendar and the information in this record is used to execute the appropriate logic; it could be that part of this logic is to place one or more new event records onto the calendar. It's possible that, at a certain time, it doesn't make sense to have a certain event type scheduled, in which case there's just no record for that kind of event on the calendar, so it obviously can't happen next. Though our model here doesn't require it, it's also possible to have several events of the same kind scheduled on the calendar at once, for different times and for different entities. In a discrete-event model, the variables that describe the system don't change between successive events. Most of the work in event-driven simulation involves getting the logic right for what happens with each kind of event. As you'll see later, though, modeling with Arena usually gets you out of having to define this detailed event logic explicitly, although you can do so if you want in order to represent something very peculiar to your model that Arena isn't set up to do directly.

A.7.8 Simulation Clock

The current value of time in the simulation is simply held in a variable called the **simulation clock**. Unlike real time, the simulation clock does not take on all values and flow continuously; rather, it lurches from the time of one event to the time of the next event scheduled to happen. Since nothing changes between events, there is no need to waste (real) time looking at (simulated) times that don't matter. The simulation clock interacts closely with the event calendar. At initialization of the simulation, and then after executing each event, the event calendar's top record (always the one for the next event) is taken off the calendar. The simulation clock lurches forward to the time of that event (one of the data fields in the event record), and the information in the removed event record (entity identification, event time, and event type) is used to execute the event at that instant of simulated time. How the event is executed clearly depends on what kind of event it is as well as on the model state at that time, but in general could include updating variables and statistical accumulators, altering entity attributes, and placing new event records onto the calendar. While we'll keep track of the simulation clock and event calendar ourselves in the hand simulation, these are clearly important pieces of any dynamic simulation, so Arena keeps track of them (the clock is a variable called TNOW).

A.7.9 Starting and Stopping

Important, but sometimes-overlooked issues in a simulation are how it will start and stop. For our example, we've made specific assumptions about this, so it'll be easy to figure out how to translate them into values for attributes,

variables, accumulators, the event calendar, and the clock. Arena does a lot of things for you automatically, but it can't decide modeling issues like starting and stopping rules. You have to determine the appropriate starting conditions, how long a run should last, and whether it should stop at a particular time or whether it should stop when something specific happens (like as soon as 100 finished parts are produced). It's important to think about this and make assumptions consistent with what you're modeling; these decisions can have just as great an effect on your results as can more obvious things like values of input parameters (such as interarrival-time means, service-time variances, and the number of machines). You should do *something* specific (and conscious) to stop the simulation with Arena, since it turns out that, in many situations, taking all the defaults will cause your simulation to run forever (or until you get sick of waiting and kill it, whichever comes first).

BIBLIOGRAFIA

A. Brandolese, A. Pozzetti, A. Siamesi, *"Gestione della produzione industriale: Principi, metodologie, applicazioni e misure di prestazione"*, Editore Ulrico Hoepli Milano 1999

David W. Kelton, Randall P. Sadowski, David T. Sturrock, *"Simulation with ARENA"* McGrawHill Higher Education New York 2006

Douglas C. Montgomery, *"Controllo statistico della qualità"*, McGrawHill Companies New York 2005

Douglas C. Montgomery, *"Design and analysis of experiment"*, Wiley New York 2001

Franco Caron, Renato Wegner, *"Studio di fattibilità: layout e simulazione"*, Edizioni CUSL Milano 1995

Marco Garetti, Marco Taisch, *"Sistemi di produzione automatizzati"*, Edizioni CUSL Milano 1997

RINGRAZIAMENTI

Staff Tenaris

Un grazie sentito a tutti coloro che ho incontrato durante la mia permanenza a Dalmine, per la cordialità e la disponibilità che mi hanno sempre dimostrato.

Grazie ai due responsabili di PIIN che si sono succeduti durante la mia permanenza, gli ingegneri Bassani e De Giuli, grazie per avermi sempre considerato come uno dei vostri e non un "corpo estraneo".

Un particolare grazie agli ingegneri Stefano Colombo, mio tutor aziendale, e Andrea Rota, analista di PIIN, che mi hanno seguito per tutto lo stage. Grazie soprattutto per la comprensione, l'aiuto e l'umanità del rapporto che si era instaurato, avete contribuito a farmi sentire parte integrante della realtà di Dalmine e non "uno di passaggio".

Docenti Politecnico

Grazie a tutti i professori che ho incontrato lungo il mio cammino e dai quali ho sempre e comunque potuto apprendere qualcosa di importante.

Un sentito grazie al prof. Gianfranco Petrone che, dopo aver parlato con me qualche minuto, mi ha dato la possibilità di sostenere il primo colloquio presso Tenaris.

Un grazie particolare al prof. Marco Taisch, mio tutor universitario per lo stage, nonché relatore dell'elaborato; grazie per la sua forte umanità con la quale mi ha pazientemente seguito e indirizzato durante il tirocinio e la stesura della tesi; grazie per avermi spronato a chiudere la partita ricordandomi ogni volta che il traguardo era lì, a portata di mano.

Amici

Ringraziarvi uno a uno dando una motivazione sarebbe impossibile e rischierei di dimenticare qualcuno. Mi terrò quindi sul vago, sperando che ognuno di voi, che ha condiviso con me questo cammino o questo importante periodo della vita, si riconosca nelle parole che sto per scrivere.

Grazie di cuore a chi mi è stato vicino nei momenti difficili, quando sembrava che la luce si fosse spenta, quando tutto era lì, a portata di mano, eppure sembrava così lontano.

Grazie agli amici di vecchia data, quelli con cui non ti vedi da mesi, ma quanto ti incontri è come se fosse passato un giorno.

Grazie a quelli con cui ho condiviso solo gioie e momenti spensierati, il vostro ricordo mi è sempre stato d'aiuto nei momenti di sconforto.

Grazie a chi è riuscito a farmi ridere anche nel giorno più triste della mia vita.

Grazie a chi, in quel giorno, non ha detto nulla, ma era lì nel caso in cui ne avessi bisogno.

Grazie a quelli che mi hanno voltato le spalle o si sono rivelati solo degli opportunisti, mi avete aiutato a crescere.

Grazie agli amici che mi hanno consigliato per il mio bene; se non vi ho ascoltato non è per poca fiducia o per presunzione, ma lo sapete come sono fatto, se prendo il dritto parto e via... andar di lungo!

Grazie a chi mi è stato vicino e mi ha incoraggiato più di quanto non abbia mai fatto io; spero di poter ricambiare in futuro.

Grazie a quelli che ho giudicato male a prima vista, ma che poi si sono rivelati più leali e validi di tanti.

Grazie, grazie, grazie a tutti, vi porterò sempre nel cuore.

Famiglia

Grazie a Lella ed Emanuele. Vi ho sempre sentito vicini, ma non sono mai riuscito a dimostrarvi l'affetto che nutro nei vostri confronti. Grazie per il sostegno che mi avete sempre dato.

Grazie ai nonni Angelina e Ugo; grazie anche al vostro lavoro e ai vostri sacrifici ho potuto condurre una vita più agiata. Avrei voluto viveste più a lungo, per conoscervi meglio.

Grazie ai nonni Bianca e Bruno e al prozio Alfonso. Mi avete sempre portato in palmo di mano, dandomi affetto, attenzioni e una infinità di insegnamenti. Porterò sempre il vostro ricordo nel cuore.

Grazie a Liliana ed Enio (consentimi la galanteria di indicare prima tua moglie), che mi hanno accolto da subito facendomi sentire come a casa e mi hanno sempre incoraggiato e sostenuto anche nei momenti difficili.

Grazie agli zii, rigorosamente in ordine di età, Gino, Margherita, Romano e Graziella; siete sempre stati presenti e pronti ad aiutarci a superare le difficoltà che ci si presentavano davanti; ve ne sarò sempre grato!

L'affetto che provo per voi è ben più grande di quanto vi possa dimostrare nei fatti.

Grazie alla mia mitica prozia Vilma, al 30 di maggio sono 89, ma lo spirito è quello di una ragazzina. Grazie per tutto l'aiuto e l'affetto che ci hai dato, ti porterò sempre nel cuore come esempio di vita.

Grazie a mio cugino Renato, il mio Paccino! Ora che ho la mente sgombra, spero di poter ricambiare tutto l'affetto che mi hai dato in questi anni senza ricevere nulla o quasi in cambio, "ti vogghio bene assaje!".

Grazie al mio futuro cognato Piero. Grazie per esserci stato vicino nei momenti difficili, ma soprattutto, grazie per come ti stai prendendo cura della mia sorellina (vabbè, ha 40 e dico quarant'anni, ma è pur sempre la mia sorellina). Sono felice di affidartela all'altare il prossimo 11 luglio.

Grazie alla mia sorellina Sabrina. Quante ne abbiamo passate... ma siamo ancora qui, più forti di prima, pronti per ciò che il futuro ci riserverà. Ogni tanto ci prendiamo per i capelli, ma poi tutto passa senza nemmeno bisogno di chiedersi scusa. Ti voglio bene, grazie di tutto.

Grazie alla mia bimba, Elisa. Oggi si chiude una parentesi e spero presto possa iniziare la nostra storia, quella che ti racconto ogni tanto quando ci sentiamo per telefono prima di dormire. Grazie di essermi stata vicino in ogni momento. Scusa se ti ho chiesto di non far parte di alcuni momenti, ma stavo cercando me stesso e dovevo farlo da solo. Grazie per aver cercato di rendere ogni momento insieme una sorpresa, una festa. Mi

impegherò perché il nostro futuro continui a riservarci di questi momenti. Ti amo.

Grazie al mio papà Rinaldo. Oggi non ci sei tra i banchi dietro alla commissione, ma non sei molto lontano... basta che mi guardi le mani, i piedi, oppure consideri tutta una serie di piccoli gesti quotidiani che faccio automaticamente per rendermi conto che sei con me tutti i giorni, tutto il giorno. Grazie papà, sono contento di assomigliarti in molte cose. Ti voglio bene.

Grazie alla mia mamma Pinuccia. Ci sono almeno 31 anni di buoni motivi per ringraziarti! Grazie di non avermi mandato all'asilo, con te a casa sono stato benissimo; grazie di avermi lasciato con i nonni a Mariano, quando d'estate faceva caldo e tu dovevi tornare a Segrate con Sabrina e il papà; grazie di avere sempre preteso il massimo dell'impegno nello studio e di avermi seguito direttamente; grazie per avermi impartito una severa educazione; grazie per avermi sempre difeso da tutto e da tutti; grazie per aver cercato di farmi avere il meglio; grazie di essere ancora lì, con il coltello tra i denti, pronta ad attaccare tutto e tutti come la chiocchia per i suoi pulcini. Mamma, ormai Sabrina e io siamo grandi e dovresti lasciarci andare per la nostra strada, accettando che possiamo inciampare e cadere; potrai sempre tenderci la mano per farci rialzare. Ti voglio bene, spero tu ti renda conto quanto.