

Università degli Studi di Padova  
Dipartimento di Scienze Statistiche  
Corso di Laurea Triennale in  
Statistica, Economia e Finanza



RELAZIONE FINALE

**Teoria dei Vincoli e Critical Chain Project Management:  
il caso Eurocryor s.r.l.**

Relatore Prof. Carla De Francesco  
Dipartimento di Matematica

Laureando: Mattia Vanzetto  
Matricola N 1075856

Anno Accademico 2015/2016



## INDICE

INTRODUZIONE .....	pag. 1
1 - La Teoria dei Vincoli .....	pag. 3
1.1 - Che cos'è la Teoria dei Vincoli .....	pag. 5
1.2 - Vincoli e non vincoli .....	pag. 6
1.3 - Misure della Teoria dei Vincoli .....	pag. 7
1.3.1 - Throughput .....	pag. 7
1.3.2 - Inventory .....	pag. 8
1.3.3 - Spese Operative .....	pag. 8
1.3.4 - Risultati di bilancio .....	pag. 8
1.3.5 - E' più importante T, I o SO? .....	pag. 9
1.4 - I cinque passi .....	pag. 9
1.4.1 - Identificare il vincolo di sistema .....	pag. 11
1.4.2 - Decidere come sfruttare il vincolo di sistema .....	pag. 11
1.4.3 - Subordinare ogni cosa alla decisione precedente .....	pag. 12
1.4.4 - Elevare il vincolo di sistema .....	pag. 12
1.4.5 - Non lasciare che l'inerzia diventi il vincolo di sistema e ritornare al passo 1 .....	pag. 13
1.5 - Drum-Buffer-Rope .....	pag. 13
2 - Critical Chain Project Management .....	pag. 15
2.1 - Introduzione .....	pag. 15
2.2 - I vecchi metodi per schedare la produzione .....	pag. 15
2.3 - Perché i metodi tradizionali non sono adeguati .....	pag. 17
2.3.1 - Problemi legati alla sovrastima della durata delle attività .....	pag. 17
2.3.2 - Problemi legati ai vincoli di natura materiale .....	pag. 18
2.4 - Il problema RCPSP ( <i>Resource Constrained Project Scheduling Problem</i> ) .....	pag. 19
2.5 - Critical Chain Project Management .....	pag. 19
2.5.1 - Stima aggressiva della durata delle attività .....	pag. 21
2.5.2 - Buffer management .....	pag. 22
2.5.3 - Dimensione dei buffer .....	pag. 24
3 - Il caso Eurocryor s.r.l. ....	pag. 27
3.1 - L'azienda .....	pag. 27
3.2 - Gli ordini .....	pag. 28
3.3 - Ufficio produzione e ciclo produttivo dell'azienda .....	pag. 28
3.4 - L'implementazione della Teoria dei Vincoli in Eurocryor .....	pag. 30
3.4.1 - Riduzione dell'inventario .....	pag. 31
3.4.2 - Implementazione dei cinque passi .....	pag. 32
3.4.3 - Implementazione del metodo CCPM .....	pag. 35
CONCLUSIONI .....	pag. 37
Bibliografia .....	pag. 39
Sitografia .....	pag. 41



## INTRODUZIONE

Negli ultimi anni in Europa ed in generale in Occidente si stanno diffondendo delle nuove correnti di pensiero che stanno cambiando il nostro modo di organizzare la produzione industriale, ovvero la cosiddetta "Produzione snella" (dall'inglese *Lean production*), di origini giapponesi, e la Teoria dei Vincoli, di origini americane. La prima è stata ideata osservando e studiando il sistema di produzione della casa automobilistica Toyota, e consiste in una serie pratiche e accorgimenti allo scopo di ridurre al minimo gli sprechi fino a renderli nulli o quasi. Si contrappone alla ben più famosa produzione di massa, sviluppata da Henry Ford, che è applicata tuttora dalla quasi totalità delle aziende occidentali. La seconda invece è stata creata dal fisico israeliano Eliyahu M. Goldratt e consiste in un metodo di revisione del processo produttivo finalizzato al miglioramento continuo dello stesso (concetto comune ad entrambi i pensieri). Nonostante la Teoria dei Vincoli negli ultimi anni abbia avuto un successo mondiale in Italia ha avuto poca diffusione.

Questa relazione si basa sulla mia esperienza di stage all'interno dell'ufficio produzione dell'azienda Eurocryor s.r.l., leader internazionale nella produzione di banchi frigo standard e su misura. E' proprio qui che ho conosciuto questi concetti e ho potuto vedere la loro applicazione all'interno dell'azienda. A tal proposito si ringrazia Michele Barbagallo, production manager dell'azienda, che mi ha introdotto a questi argomenti e si è reso sempre disponibile a fornirmi preziose delucidazioni laddove avessi dei dubbi, sia all'interno dello stage sia nella stesura di questa tesi. Sebbene in azienda abbia visto l'applicazione di entrambi i pensieri l'argomento di questa relazione è esclusivamente la Teoria dei Vincoli.

In particolare mi concentrerò sull'esposizione dei suoi concetti generali e poi più nello specifico sulla sua applicazione nella programmazione delle attività che costituiscono un ciclo produttivo. Infine illustrerò la sua implementazione all'interno di Eurocryor. Nonostante si possa applicare a molte organizzazioni, non solo ad aziende che hanno lo scopo di produrre profitto, qui vedremo esclusivamente la sua applicazione in un contesto manifatturiero.



# 1 – La Teoria dei Vincoli

## 1.1 – Che cos'è la Teoria dei Vincoli

La Teoria dei Vincoli, a volte abbreviata in TOC dall'inglese *Theory of Constraints*, è un nuovo approccio per pianificare e controllare la produzione e vendita di beni e servizi. Ideata e sviluppata dal fisico israeliano Eliyahu M. Goldratt, divenne famosa nel 1984 grazie alla pubblicazione del suo best seller "The Goal" [4], un romanzo a tema manageriale. In quest'ultimo non viene introdotta nello specifico la teoria, ma si focalizza maggiormente l'attenzione sui principi guida in ambito industriale noti all'epoca, arrivando a mostrarne i limiti in perfetto stile socratico per poi introdurre le principali idee della Teoria dei Vincoli.

Essa si basa su un concetto molto semplice, ossia che l'anello debole di una catena determina la debolezza complessiva della catena stessa [1, 2, 8]. Questo come si traduce nel contesto di un processo produttivo? Parlando ad esempio del ciclo produttivo di un'azienda composto da vari reparti che lavorano simultaneamente e non, significa che l'output totale del ciclo è dato dall'output del reparto meno produttivo dell'azienda e che tutto il surplus prodotto dagli altri reparti diventa uno spreco. Spreco di denaro in quanto è materiale che verrà messo a magazzino con conseguenti costi, e spreco di risorse produttive in quanto quest'ultime potrebbero venire impiegate in modo migliore. Il reparto più debole prende dunque il nome di vincolo di sistema ed è proprio a questo che si riferisce il nome Teoria dei Vincoli. Detto questo possiamo affermare che il vincolo di un sistema produttivo è quel fattore che, in un qualsiasi momento del ciclo produttivo, limita quest'ultimo dal produrre maggiore output e di conseguenza incrementare il profitto dell'azienda. Esso all'interno di un'azienda può assumere varie forme, lo sviluppo lento di nuovi prodotti, fornitori lenti ad assolvere il loro servizio, una capacità produttiva insufficiente oppure una domanda di mercato inferiore alla capacità produttiva dello stabilimento, giusto per citarne alcuni.

Volendone dare una definizione possiamo dire che la Teoria dei Vincoli è un approccio sistemico alla gestione della produzione che vede nella focalizzazione su

pochi fattori strategici la chiave per il successo dell'intera azienda. Consiste in una serie di passaggi (cinque per la precisione, come vedremo in seguito) da ripetere ciclicamente volti allo scopo di revisionare un processo produttivo migliorandolo di volta in volta, e per questo si dice anche che essa miri ad un miglioramento continuo (concetto comune anche alla *Lean production*).

## **1.2 - Vincoli e non vincoli**

E' lecito chiedersi quanti vincoli siano presenti in un sistema e quanti non lo siano. Goldratt sostiene che in un sistema, in un dato momento, sia presente soltanto un vincolo, ed esattamente come per il collo di una clessidra questo vincolo limita l'intero output del sistema in questione. Di conseguenza allo stesso momento tutto quello presente nel sistema è un non vincolo.

Se si vuole rafforzare la catena, e cioè migliorare il sistema, la cosa più logica su cui soffermarsi è l'anello più debole. Allocare risorse o beni a qualsiasi altro anello della catena che non sia il più debole oltre che essere illogico è anche improduttivo e rappresenta una scelta sbagliata. Rafforzare qualsiasi altro reparto del ciclo produttivo non renderà l'azienda più produttiva perché sarà sempre il vincolo a determinare la quantità di output totale, che sarà uguale se non inferiore alla capacità del reparto in questione, indifferentemente da quanto può produrre un qualsiasi altro reparto non vincolante.

Ora assumendo di aver individuato quale sia il vincolo ed averlo reso più produttivo cosa succederà al sistema? Sicuramente la catena si è rafforzata e l'anello che era il più debole ora non lo è più, tuttavia il sistema è ancora limitato da un altro anello che nel frattempo sarà divenuto il più debole. Il sistema è migliore di prima ma ancora peggiore di quello che potrebbe essere, il ciclo produttivo è ancora vincolato ma il vincolo si è spostato in un altro reparto. Questo è il ragionamento su cui si basa sostanzialmente la Teoria dei Vincoli e dal quale derivano i suoi 5 passi, e proprio per questo si è soliti dire che essa mira ad un miglioramento continuo.



### **1.3 – Misure della Teoria dei Vincoli**

Come si può intuire nel paragrafo precedente un concetto di fondamentale importanza all'interno della Teoria dei Vincoli è che l'ottimo del sistema non è uguale alla somma degli ottimi dei vari reparti. Questo cosa significa? Significa che cercare di aumentare l'efficienza di un processo produttivo cercando di ottenere la massima efficienza da ogni fase della produzione, e cioè cercare di far produrre al massimo ogni reparto, è sbagliato. Questo è uno dei punti in cui il pensiero TOC si differenzia maggiormente dalla linea di pensiero classica che mira a sostituire. Se un sistema produce al massimo delle sue possibilità, non più di un reparto starà producendo al massimo delle sue possibilità. Se tutti i reparti di un sistema stanno producendo al massimo delle loro possibilità, non si potrà dire lo stesso del sistema nel suo complesso.

Questo di conseguenza si traduce in un bisogno di sostituire le misure di valutazione della produzione basate sull'efficienza dei reparti, utilizzate nella maggior parte delle aziende, con altre misure che possano mostrare effettivamente il risultato della produzione e delle scelte di un manager relativamente ad essa sull'obiettivo principale dell'impresa, ovvero l'aumento del profitto. Quindi la Teoria dei Vincoli propone nuovi valori da osservare per valutare l'effetto di scelte locali, per esempio modifiche o migliorie al reparto vincolante, sui risultati dell'intero sistema. Esse sono facili da calcolare, si basano su semplici risultati operativi e non sulle efficienze locali, sono:

- Throughput (T)
- Inventory (I)
- Spese Operative (SO)

#### **1.3.1 - Throughput**

Il Throughput (T) rappresenta la quantità di denaro che resta in azienda quando il prodotto viene venduto. Esso è calcolato semplicemente sottraendo dai ricavi i costi totalmente variabili, come ad esempio materiali, provvigioni di vendita o

altro. Più è grande la velocità con cui l'azienda genera denaro più questa quantità sarà maggiore.

### **1.3.2 - Inventory**

Secondo la Teoria dei Vincoli l'Inventory (I) è dato da tutto il denaro speso dall'azienda per beni che intende vendere. Include quindi materie prime, prodotti finiti e semilavorati. Ma anche investimenti in macchinari e attrezzature, inclusi quelli obsoleti che si intendono rivendere, seppure al loro valore deprezzato. Il loro valore deprezzato fa parte dell'Inventory mentre il deprezzamento fa parte delle spese operative (prossimo paragrafo). Quando fu sviluppata la Teoria dei Vincoli venne scelto il termine Inventory (in inglese giacenze, scorte) perché all'epoca la maggior parte delle aziende aveva un elevato bisogno di eliminare scorte in eccesso e perché era uno dei pochi, se non l'unico, investimento sotto il diretto controllo dei manager operativi.

### **1.3.3 - Spese Operative**

Le Spese Operative (SO) sono tutto il denaro che il sistema spende per convertire l'Inventory in Throughput. Sono costituite per esempio dalla manodopera e da tutte le spese legate ad essa, nonché come anticipato prima dal deprezzamento dei beni e macchinari dell'azienda, in quanto è da considerarsi valore speso o consumato per trasformare Inventory in Throughput.

### **1.3.4 - Risultati di bilancio**

Dalle tre misure introdotte dall'approccio TOC derivano degli indicatori che permettono una facile analisi dei risultati dal punto di vista del bilancio, essi sono:

- Profitto (P) = **Throughput - Spese Operative**
- Ritorno sugli investimenti (ROI) =  $\frac{\text{Throughput} - \text{Spese Operative}}{\text{Inventory}}$

$$- \text{Cash Flow} = (\text{Throughput} - \text{Spese Operative}) + (\text{Diminuzione Inventory})$$

Nella maggior parte dei casi tuttavia non si usa il valore assoluto di P, ROI o Cash Flow bensì la loro variazione o potenziale variazione a seguito di una scelta o cambiamento:

$$\begin{aligned}\Delta P &= \Delta T - \Delta SO \\ \Delta ROI &= \frac{\Delta T - \Delta SO}{\Delta I} \\ \Delta CF &= (\Delta T - \Delta SO) + \Delta I\end{aligned}$$

### 1.3.5 - E' più importante T, I o SO?

Per migliorare il sistema produttivo su quale misura tra Throughput, Inventory o Spese Operative bisogna concentrare maggiormente gli sforzi? Le possibilità sono di diminuire SO, diminuire I o aumentare T [2].

Teoricamente il limite minimo fino a cui si può diminuire I o SO è zero. Tuttavia nessun sistema può produrre alcun output senza un livello minimo di Inventory e Spese Operative. Sempre teoricamente non c'è un limite superiore che possa fermare il possibile aumento di T, tuttavia da un punto di vista pratico il limite è dato dalla grandezza del mercato su cui opera l'azienda in questione.

In ogni caso è probabile che il potenziale aumento di T sia sempre più grande della potenziale diminuzione di I e SO. Di conseguenza è logico impiegare maggiori risorse e sforzi sulle attività che possono in primo luogo aumentare T, e dare secondaria importanza alla riduzione di I e SO.

### 1.4 - I cinque passi

L'idea della Teoria dei Vincoli si può riassumere in [7]:

- Ogni sistema deve avere almeno un vincolo. Se non fosse così un'azienda produrrebbe output illimitato e avrebbe profitto infinito. Un vincolo perciò è qualcosa che limita un sistema dal raggiungere prestazioni migliori.
- L'esistenza di un vincolo indica che sono presenti opportunità di miglioramento. Contrariamente al pensiero comune la filosofia TOC vede il vincolo come una cosa positiva e non negativa. Dato che i vincoli determinano la performance di un sistema, un graduale elevamento dei vincoli di un sistema ne determina il miglioramento delle prestazioni.

Come già accennato in precedenza, la Teoria dei Vincoli è nata per creare un processo di miglioramento continuo. Da questo scopo e dalle intuizioni riassunte in precedenza scaturiscono i suoi 5 passi, ovvero il fulcro della Teoria:

1. Identificare il vincolo di sistema
2. Decidere come sfruttare il vincolo di sistema
3. Subordinare ogni cosa alla decisione precedente
4. Elevare il vincolo di sistema
5. Non lasciare che l'inerzia diventi il vincolo di sistema e ritornare al passo 1

La figura seguente riassume i cinque passi del pensiero TOC:

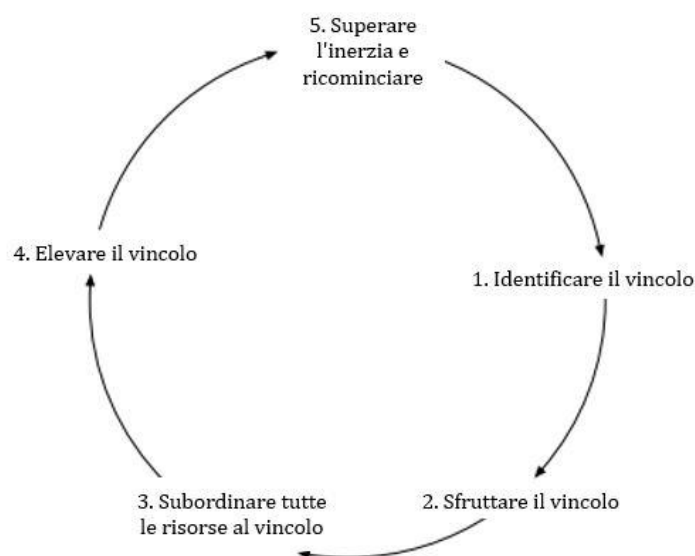


Figura 1.1

### **1.4.1 - Identificare il vincolo di sistema**

Ogni sistema ha un vincolo che ne limita la crescita, altrimenti crescerebbe all'infinito. Il primo passo dunque, com'è logico che sia, consiste nell'individuare. Esso può essere fisico, come nel caso sia costituito da una carenza di macchine, persone, materiali o livello di domanda, oppure manageriale. Generalmente, le aziende hanno meno vincoli fisici e più vincoli di tipo manageriale, come ad esempio cattive procedure o metodi e scelte di produzione sbagliati.

Identificare quale sia il vincolo di un sistema richiede un certo lavoro, l'analisi della struttura logica V-A-T fornisce un approccio sistematico a questo problema, tuttavia non verrà trattata in questa relazione finale. In ogni caso, spesso il miglior approccio è recarsi nello stabilimento di produzione e chiedere ai lavoratori meglio informati, come ad esempio capi reparto, informazioni sul flusso di prodotti attraverso il processo produttivo. Anche l'analisi dei registri delle ore di straordinario lavorate può rivelarsi utile.

### **1.4.2 - Decidere come sfruttare il vincolo di sistema**

Dopo aver indentificato l'anello più debole del sistema, è necessario organizzare la produzione in modo da assicurare che il vincolo venga sfruttato al massimo, nel caso si tratti di un vincolo fisico. Produzione persa nel vincolo è produzione persa dal sistema totale, dato che la prima determina la seconda. È necessario assicurarsi in primo luogo che il vincolo lavori senza interruzioni, che non resti inutilizzato per via ad esempio di pause pranzo, cambi turno o guasti e organizzare il tutto di conseguenza, ad esempio inserendo controlli della qualità prima del vincolo per evitare eventuali ritardi, riducendo eventuali tempi di setup e svolgendo manutenzione preventiva.

Nel caso invece si trattasse di un vincolo manageriale, come ad esempio una cattiva politica produttiva, il vincolo non va sfruttato ma eliminato e rimpiazzato da una nuova politica più efficiente volta ad aumentare il Throughput dell'azienda.

### **1.4.3 - Subordinare ogni cosa alla decisione precedente**

Il terzo passo consiste nel subordinare ogni altro reparto o attività facente parte del ciclo produttivo al vincolo di sistema e alla sua capacità. Questo è il passo probabilmente più difficile da implementare, poiché va contro a molte politiche manageriali tradizionali e perché l'abbassamento conseguente ad esso delle classiche misure di performance legate alle efficienze locali può farlo sembrare illogico. In sostanza questo passo ci dice che ogni componente del sistema (che non sia un vincolo) dev'essere aggiustato in modo da adeguarsi alla massima capacità di produzione del vincolo. Poiché il vincolo determina il Throughput dell'azienda questa sincronizzazione delle attività e reparti rappresenta il modo più efficiente di utilizzare le risorse a disposizione. Le attività non vincolanti devono produrre in quantità pari alla capacità del vincolo più una quantità di sicurezza per assicurare che il vincolo abbia materiale su cui lavorare anche in caso di guasti o interruzioni al ciclo produttivo. Nel caso le attività non vincolanti eccedessero la quantità di produzione necessaria a sostenere il vincolo di sistema il surplus in questione non andrebbe ad incrementare il Throughput dell'azienda ma solo il suo Inventory, rendendosi di fatto uno spreco. Vale la pena sottolineare che i passi 1 e 2 finora coinvolgevano solo un numero limitato di persone, con il passo 3 invece tutte le persone operanti nel sistema devono rendersi partecipi dell'implementazione. Anche per questo motivo il passo corrente risulta spesso il più difficoltoso da mettere in pratica.

### **1.4.4 - Elevare il vincolo di sistema**

Già dopo aver implementato i primi tre passi il sistema avrà prestazioni migliori, ora è arrivato il momento di elevare il vincolo di sistema. Elevare in questo caso significa aumentare la capacità produttiva del vincolo, da non confondere con il passo 2 in cui si ottimizzava il vincolo in modo da sfruttarne la capacità massima, senza modificarlo. Essendo arrivati al passo 4 significa che le modifiche apportate al sistema in precedenza non sono state sufficienti a migliorarlo abbastanza da eliminare il vincolo, o meglio a farlo spostare in un altro reparto. È bene accertarsi

di questo fatto, in quanto questo passaggio coinvolge considerevoli investimenti in termini di tempo e denaro. Le azioni per aumentare la capacità del vincolo sono molteplici, è possibile modificare le attrezzature o acquistarne di nuove, acquistare macchinari più avanzati tecnologicamente o assumere più personale. Quando questo passo sarà terminato significherà che il vincolo è stato elevato abbastanza da essere stato eliminato.

#### **1.4.5 - Non lasciare che l'inerzia diventi il vincolo di sistema e ritornare al passo 1**

Il quinto ed ultimo dei cinque passi che costituiscono il pensiero TOC sollecita a non adagiarsi sugli allori una volta ottenuti dei risultati, grandi o piccoli che siano. La prima parte del quinto passo è ciò che rende la Teoria dei Vincoli un processo di miglioramento continuo, la seconda invece ci ricorda che nessuna soluzione è corretta per sempre o per tutte le situazioni. Il fatto che il vincolo sia stato eliminato non significa che non ci siano più vincoli, ma che un altro reparto o un'altra attività del sistema ora è la più debole e necessita di essere revisionata. Inoltre non va dimenticato che ogni successivo cambiamento che apportiamo al sistema si ripercuote anche sui vincoli che abbiamo già eliminato, quindi andranno modificati e aggiornati di nuovo anche loro. È fondamentale per le aziende riconoscere che le regole del mercato cambiano di continuo e che le politiche di produzione devono adattarsi di conseguenza cambiando a loro volta.

#### **1.5 - Drum-Buffer-Rope**

Dal secondo e terzo passo della Teoria dei Vincoli abbiamo capito che la protezione del vincolo di sistema è di fondamentale importanza. Esso deve essere sempre rifornito di lavoro affinché possa produrre a pieno regime, questo perché se per un qualsiasi motivo venisse a interrompersi il flusso di lavoro a monte del vincolo la produzione finale e di conseguenza il Throughput ne risentirebbero immediatamente come ben sappiamo.

La metodologia da seguire per organizzare la produzione secondo il pensiero TOC è chiamata Drum-Buffer-Rope [1]. Essa nasce per sincronizzare l'utilizzo di risorse e materiali all'interno di un'azienda e prende il nome dai suoi tre elementi fondamentali. Drum (tamburo) è il ritmo a cui lavora l'anello più debole e perciò è il ritmo a cui tutto il sistema deve attenersi per produrre. Con Rope (corda) si intende il rilascio delle materie prime in sincronizzazione con l'anello più debole del sistema, in modo che la catena produttiva elabori solamente le quantità che il vincolo è in grado di gestire. In questo modo si evita l'accumularsi di lavoro davanti al vincolo. I Buffer invece sono dei tempi di sicurezza collocati in maniera strategica all'interno della catena produttiva, sia davanti all'anello più debole sia in altri punti specifici, in modo da evitare che il processo produttivo si fermi a causa degli anelli non vincolanti del sistema. Poiché interruzioni casuali sono inevitabili all'interno di qualsiasi azienda, anche la più organizzata, la metodologia DBR fornisce un meccanismo di protezione del Throughput totale del sistema attraverso l'utilizzo di buffer temporali.

In un secondo momento dopo la sua ideazione, dal metodo Drum-Buffer-Rope è nata una nuova teoria che prende il nome di Critical Chain Project Management, cioè un nuovo metodo di pianificazione e gestione di progetti. Si differenzia maggiormente dai metodi più classici e famosi in quanto dà importanza alla disponibilità di risorse oltre che ai tempi e precedenza tra attività. È proprio di questo argomento che tratterà il prossimo capitolo.



## **2 – Critical Chain Project Management**

### **2.1 – Introduzione**

Come visto in precedenza l'applicazione della Teoria dei Vincoli è un approccio che può essere utilizzato per migliorare molte tecniche manageriali. In particolare grazie alla multidisciplinarietà del Project Management le applicazioni del pensiero TOC al suo interno sono molteplici. Questo significa che nel contesto in un ambiente produttivo l'applicazione della Teoria dei Vincoli al Project Management può essere utilizzata per programmare in maniera più efficiente le varie attività che compongono il ciclo produttivo, specialmente quelle che vengono svolte in parallelo da reparti diversi o che magari devono condividere particolari risorse, che possono essere sia materie prime sia macchinari. A tale scopo nasce il Critical Chain Project Management (CCPM) [3], ovvero il metodo della Catena Critica. Esso, come del resto anche gli altri principi del pensiero TOC, ha varie applicazioni ma qui ci soffermeremo sul suo utilizzo per la schedulazione della produzione dato che essa è il tema principale della tesi.

### **2.2 – I vecchi metodi per schedulare la produzione**

Le due tecniche di schedulazione della produzione, o più in generale della schedulazione di progetti, più conosciute e usate risalgono alla fine degli anni cinquanta, e sono il CPM (*critical path method*) e il PERT (*project evaluation and review technique*). Il primo, meglio noto come metodo del cammino critico, fu utilizzato per la prima volta nel 1957 nella costruzione di un nuovo impianto chimico della DuPont Corporation mentre il secondo, noto anche come metodo della stima a tre valori, è stato usato inizialmente nel 1958 dalla Marina degli Stati Uniti per ridurre i tempi e i costi per la costruzione dei sottomarini nucleari armati con i missili Polaris. Entrambi i metodi fanno uso di grafi orientati per rappresentare i progetti, ovvero di insiemi di nodi e archi che rappresentano le varie attività del progetto in modo da esplicitarne le dipendenze temporali (esempio in figura). In particolare esistono due tipi di rappresentazioni di progetti

su grafi. Il primo è detto Activity-On-Arrow (AOA) e al suo interno le attività sono rappresentate dagli archi del grafo. Il secondo è detto Activity-On-Node (AON) e rappresenta le attività sui nodi del grafo, quest'ultimo è di gran lunga il più diffuso. Il CPM è un metodo deterministico che usa tempi stimati fissati per ogni attività mentre il PERT è un modello che inserisce il caso nei tempi di completamento delle varie attività. Entrambi condividono similarità e vengono usati tuttora per la pianificazione e controllo di vari progetti. La differenza fondamentale tra i due è che il CPM usa stime deterministiche per la durata delle attività che non tengono conto dell'incertezza, mentre nel PERT ogni attività è considerata una variabile aleatoria che quindi possiede una propria distribuzione di probabilità. Entrambi individuano una sequenza di attività, chiamata il cammino critico, e attraverso quest'ultimo prevedono la durata totale del progetto. Il cammino critico è la sequenza più lunga di attività dipendenti (ognuna delle quali non può iniziare se non è conclusa quella precedente) che compongono il progetto, ovviamente parte dall'attività iniziale e va a quella finale. Di conseguenza il cammino critico individua il tempo minimo necessario a concludere il progetto. Il suo scopo è dunque individuare quelle attività che possono essere ritardate senza causare ritardo nel tempo totale di esecuzione del progetto e quelle attività che invece non possono essere ritardate, ovvero quelle che compongono il cammino critico, poiché pari ritardo ricadrebbe sulla durata totale. Qui non verrà approfondito maggiormente l'aspetto tecnico riguardante questi due metodi, come per esempio la determinazione del cammino critico o i metodi di stima delle durate nel PERT, poiché non è utile ai fini di questa relazione; piuttosto ci si soffermerà sulle mancanze di questi due metodi per le quali è nata l'esigenza di sviluppare un nuovo modo di schedulare i progetti e la produzione.

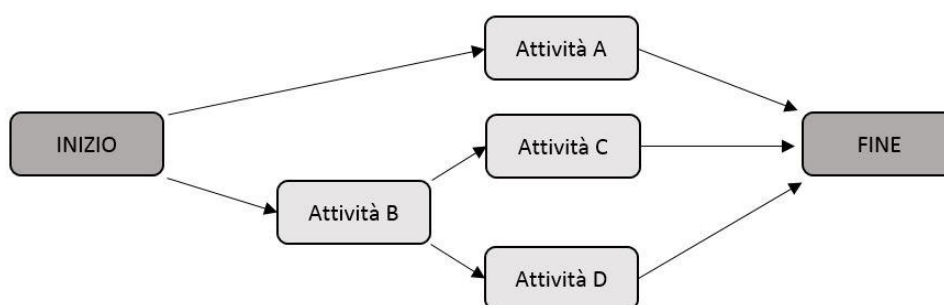


Figura 2.1

## 2.3 – Perché i metodi tradizionali non sono adeguati

L'esigenza di un nuovo approccio al project management è nata a causa di alcuni problemi che sono emersi nel corso degli anni nell'applicazione dei diffusi metodi CPM e PERT, infatti quest'ultimi spesso non funzionano a dovere [5]. I problemi più diffusi che si manifestano sono il ritardo nel completamento del progetto e il superamento dei costi previsti, situazioni con le quali la maggior parte dei manager ha molta familiarità ma che in teoria dovrebbero essere gestite proprio dai metodi CPM e PERT. Il tutto secondo Goldratt nasce da due cause principali, ovvero come primo motivo dal fatto che i metodi classici sovrastimano la durata delle attività del progetto con conseguenze negative che vedremo, mentre come secondo motivo che i metodi CPM/PERT tengono conto solamente dei vincoli di tipo temporale e non dei vincoli legati alla disponibilità di risorse (personale, macchinari, materiali). Approfondiremo entrambi nei prossimi paragrafi.

### 2.3.1 – Problemi legati alla sovrastima della durata delle attività

È pratica comune nei metodi tradizionali inserire per ogni stima della durata delle attività (a prescindere dal metodo di stima usato) un tempo di sicurezza per proteggere il tempo totale del progetto dagli imprevisti, indipendentemente dal fatto che l'attività faccia parte o meno del cammino critico (figura 2.2). Così facendo la probabilità di concludere il progetto nel tempo previsto dovrebbe essere elevata, tuttavia nella maggior parte dei casi non è così. Goldratt sostiene che questi tempi di sicurezza causano dei comportamenti negativi da parte dei lavoratori, in particolar modo:

- Legge di Parkinson: la legge di Parkinson sostiene che la durata totale di un lavoro si espande lungo tutto il tempo ad esso assegnatogli per essere

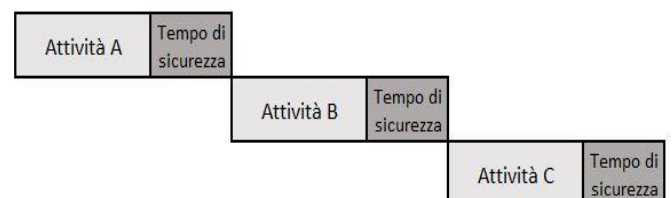


Figura 2.2

completato, fino ad occuparlo tutto. Questo perché più un lavoro è lungo più appare importante e impegnativo. Inoltre spesso è comune tra i lavoratori

la sensazione che se un lavoro non utilizza tutto il tempo che gli è stato assegnato la qualità risultante sia inferiore a quella richiesta e che sarebbe stata raggiunta utilizzando la totalità del tempo programmato.

- **Sindrome dello studente:** con questo termine si intende la tendenza a procrastinare fino all'ultimo momento utile l'inizio di una attività o un lavoro, oppure a intraprendere il lavoro con eccessiva rilassatezza nella sua fase iniziale. Questo effetto è causato anche dal fatto che i lavoratori sono a conoscenza che il lavoro necessita meno tempo di quello che gli è stato assegnato per essere portato a termine. È ovvio che questo tipo di atteggiamento spreca in partenza il margine di sicurezza che è stato programmato per evitare che imprevisti ritardino la durata dell'attività e del progetto.

### **2.3.2 – Problemi legati ai vincoli di natura materiale**

Nei tradizionali metodi CPM e PERT i vincoli relativi alle risorse limitate che devono essere condivise tra le attività del progetto non sono tenuti in considerazione, ma l'allocazione delle risorse viene effettuata come un passo aggiuntivo dopo la determinazione del cammino critico. La limitata disponibilità delle risorse, in aggiunta alle dipendenze temporali, diminuisce ulteriormente la probabilità che un progetto venga portato a termine secondo i tempi programmati. Dunque l'importanza che viene data a questi vincoli nel metodo della catena critica è uno dei tratti che lo contraddistingue maggiormente dai metodi di project management tradizionali. Senza dubbio inserendo nella programmazione la disponibilità di materiali, personale e macchinari si allunga la durata totale del progetto, tuttavia l'affidabilità delle previsioni e della programmazione ne risente oltremodo positivamente.

## **2.4 – Il problema RCPSP (*Resource Constrained Project Scheduling Problem*)**

Come abbiamo visto i metodi CPM e PERT si basano sull'irrealistica assunzione che le risorse siano illimitate e questo spesso porta ad un loro utilizzo inefficiente. Di conseguenza, l'importanza della disponibilità delle risorse ha dato origine al problema della schedulazione dei progetti sotto risorse limitate, in inglese *Resource Constrained Project Scheduling Problem* e spesso abbreviato in RCPSP. Il problema è dato, com'è prevedibile, da una o più risorse limitate e una serie di attività da schedulare. Le attività sono connesse da due tipi di vincoli: vincoli di precedenza, che indicano che certe attività non possono iniziare prima della fine di altre, e vincoli relativi alla disponibilità di risorse. L'esecuzione di ogni attività consuma, in misura diversa, sia tempo sia risorse. L'obiettivo è quello di combinare le varie attività in modo da minimizzare la durata totale del progetto, infatti si tratta di un problema di ottimizzazione combinatoria. Il problema appena enunciato è una generalizzazione del noto *job shop problem* e come quest'ultimo è un problema NP-hard, il che significa che non è possibile trovarne una soluzione ottima in un tempo polinomiale. Negli ultimi anni sono stati proposti molti algoritmi esatti ed euristici per risolvere questo problema, tuttavia la natura NP-hard del problema rende molto difficile trovare una soluzione per progetti realistici di grandi dimensioni. Per via di questa complessità la maggior parte dei software commerciali utilizzati nel project management usa regole semplificate di precedenza basate su algoritmi euristici con la speranza di trovare una soluzione il più vicina possibile a quella ottima. Esiste sia una variante deterministica del problema, in cui si assume che le durate delle attività e la richiesta di risorse siano fissate, sia una variante stocastica, in cui si considerano le durate delle attività aleatorie.

## **2.5 - Critical Chain Project Management**

Ora che sono state introdotte alcune nozioni preliminari è possibile passare all'illustrazione vera e propria del metodo della catena critica. Il primo passo che compone il metodo CCPM è quello di determinare la catena

critica del progetto, ovvero il percorso più lungo considerando sia le precedenze temporali sia le disponibilità materiali. Questo proprio come per gli altri metodi rappresenta la durata totale del progetto nel suo complesso. Nel caso la disponibilità di risorse non sia vincolante ciò che ne risulta è proprio il cammino critico classico. In primo luogo dunque è necessario risolvere il problema RCPSP allo scopo di creare una programmazione di base del progetto. L'approccio CCPM non prescrive uno specifico algoritmo per la risoluzione del problema RCPSP tra i vari che sono stati proposti in letteratura, la scelta dunque è lasciata alla persona o allo staff che implementa la teoria. Di conseguenza, per progetti di dimensioni elevate, la catena critica risultante potrebbe variare leggermente in base all'algoritmo o pacchetto software scelto. Tuttavia raramente le differenze che si possono riscontrare sono significative ai fini progettuali, soprattutto in relazione ai ben più importanti pericoli derivanti dall'incertezza sui quali bisogna prestare maggiore attenzione. Solitamente i pacchetti più usati sono ProChain, Concerto e PS8.

In letteratura la schedulazione basata sulla catena critica è spesso indicata come metodo CPM livellato sulle risorse, con un'accezione negativa. La pratica di livellare la disponibilità di risorse sopra il progetto già ottenuto attraverso il metodo CPM, spesso separando le attività programmate in parallelo che utilizzano la stessa risorse per disporle in serie, non è equivalente al risolvere il problema RCPSP, che minimizza la durata del progetto considerando i due tipi vincoli contemporaneamente. Dunque appellare in questo modo il metodo CCPM è erraneo.

Detto ciò, il metodo della catena critica va oltre la soluzione del problema RCPSP e si differenzia da questo e dagli altri metodi proponendo una stima diversa della durata delle attività, ma soprattutto ridistribuendo e rimodellando i tempi di sicurezza comunemente usati per le attività del progetto. Quest'ultimo argomento in particolare prende il nome di *buffer management*.

### 2.5.1 – Stima aggressiva della durata delle attività

Dati i problemi legati alla sovrastima delle attività che sono stati elencati in precedenza, il metodo CCPM propone di eliminare i tempi di sicurezza inseriti nelle stime in modo che non divengano tempo sprecato e accorciare le stime per ogni attività. In seguito vedremo che i tempi eliminati non verranno esclusi del tutto dal progetto ma reinseriti altrove. Nei metodi tradizionali di schedulazione la durata delle attività è stimata in modo da avere un'alta probabilità di riuscita del progetto nei tempi previsti, diciamo circa il 90%. Per evitare il problemi comportamentali derivanti dai tempi di sicurezza secondo il Critical Chain Project Management è necessario ridurre le stime fino al punto in cui la probabilità di completamento nei tempi previsti è del 50%. La differenza dallo stimare con un intervallo di confidenza del 90% e uno del 50%, secondo Goldratt, sta esattamente nel rimuovere i tempi di sicurezza. Questo implica che la data di inizio e di fine di un'attività non è monitorata con esattezza durante l'esecuzione del progetto, e che è necessario accettare il fatto che una volta su due l'attività potrà superare la sua durata prevista. Questo metodo di schedulazione meno rigido fa in modo che i lavoratori non debbano aspettare la data di inizio programmata per la loro attività o reparto e che i vantaggi derivanti da un'attività terminata prima del previsto vengano effettivamente capitalizzati, infatti un'attività può iniziare appena l'altra è completata. Questa è nota anche come etica del lavoro a staffetta. Tra gli esperti si è dibattuto nel corso degli anni su quale sia la stima migliore della durata delle attività tra media e mediana, recentemente pare sia stato appurato che le stime migliori le fornisca la media, nonostante l'ideatore originale della teoria propendesse a favore della mediana. In figura è rappresentato l'esempio di un'ipotetica distribuzione del tempo di esecuzione di un'attività di un progetto.

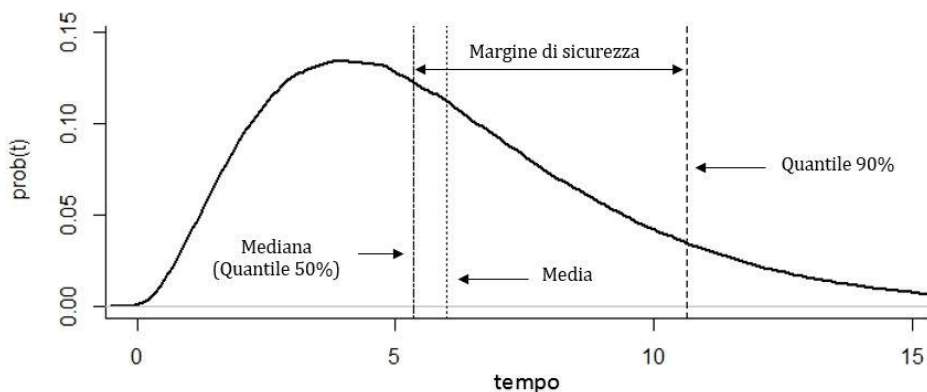


Figura 2.3

### 2.5.2 - Buffer management

Il metodo CCPM è basato sul presupposto, come anche i sistemi più tradizionali, che l'incertezza nella durata delle attività sia la principale causa che impedisce di portare un progetto a termine o di produrre secondo i tempi programmati. Di conseguenza propone un modo di gestire meglio i tempi di sicurezza da assegnare alle varie attività per affrontare in maniera migliore gli imprevisti. Il suggerimento è di spostare l'attenzione dalle attività individuali e dalla loro durata alla durata del progetto nella sua totalità (si noti che il passaggio dalla mentalità locale a quella globale è uno dei principi cardine della Teoria dei Vincoli). Poiché i margini di tempo di sicurezza si rivelano spesso inutili, se non addirittura controproducenti, il metodo CCPM invita a procedere alla loro eliminazione per riallocarli in punti strategici del progetto. Questi nuovi margini temporali prendono il nome di *buffer* e si dividono in tre tipi differenti, essi sono parte integrante della catena critica con stime delle durate aggressive. Essi sono:

- *Project Buffer*: esso è costituito dai tempi di sicurezza che erano associati alle attività facenti parte della catena critica. È posto alla fine della catena critica allo scopo di proteggere la data stabilita di completamento dalle variazioni che possono occorrere alle attività critiche. Questo generalmente migliora molto l'attendibilità della data di conclusione del progetto prevista. La durata totale programmata in questo modo diviene quindi la somma della durata delle attività della catena critica più il buffer in questione.
- *Feeding Buffer*: questo è il buffer che viene inserito dal metodo CCPM nei punti in cui le attività non critiche si uniscono alla catena critica del progetto. Il suo scopo è proteggere la catena critica da eventuali difficoltà e imprevisti riscontrati nelle attività non critiche, ed inoltre è grazie ad essi se le attività della catena critica possono partire prima nel caso non si verificano problemi e le attività critiche precedenti vengano concluse in anticipo. Ovviamente se il progetto è costituito solamente da un percorso e da nessuna attività svolta in parallelo i feeding buffer non sono necessari.



- *Resource Buffer*: il terzo ed ultimo tipo di buffer presentato dal metodo Critical Chain Project Management è costituito da una serie di attività fittizie inserite prima delle attività critiche che necessitano di utilizzare una o più risorse critiche. I resource buffer costituiscono sostanzialmente un campanello d'allarme per le risorse critiche che devono essere impiegate in un'attività critica in breve tempo o anticipatamente rispetto ai tempi programmati. Secondo il metodo CCPM, questo avviso ha lo scopo di intimare alle risorse critiche richieste di completare qualsiasi attività non critica stiano svolgendo e rendersi pronte per lavorare sulla catena critica. Essendo fittizi questi buffer non consumano effettivamente tempo nella programmazione del progetto o produzione.

Quando si parla di buffer management ci si riferisce, più che alla creazione dei buffer, al loro monitoraggio durante l'esecuzione del progetto. Poiché ogni attività schedata è collegata ad un buffer il loro

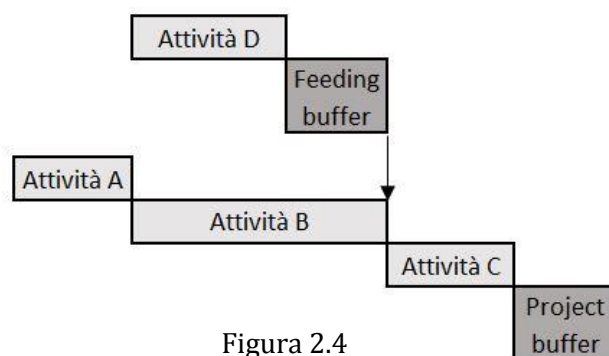


Figura 2.4

consumo dà un'indicazione fondamentale sull'andamento del progetto e sul fatto che le attività stiano richiedendo più tempo di quello che è stato loro assegnato. Infatti se un'attività è conclusa in ritardo verrà consumata una quantità pari al ritardo di buffer. Il monitoraggio si basa prevalentemente sul confronto tra percentuale di buffer rimanente e percentuale di catena (che si immette in quel buffer) completata. Fintanto che ci sono determinate proporzioni tra queste due quantità si ritiene che il completamento del progetto stia andando bene. Se invece è consumata una parte eccessiva di buffer rispetto alle attività svolte sarà necessario prendere dei provvedimenti. I buffer sono divisi in tre parti di uguale misura, una verde, una gialla e una rossa. Se il livello di consumo del buffer è nella zona verde nessuna azione è richiesta e il lavoro sta procedendo bene. Se il livello di consumo entra nella zona gialla si deve iniziare a pensare a qualche possibile

azione correttiva. Se il livello di consumo è nella zona rossa è necessario agire per risolvere il problema che evidentemente è presente. Un modo semplice e intuitivo per utilizzare queste linee guida sui buffer è rappresentato dal grafico noto come *Fever Chart*, che si può tradurre in “grafico della febbre”. Esso rappresenta il consumo dei buffer in confronto al rispettivo livello di completamento del progetto, mostrando in quale zona delle tre elencate precedentemente ci si trova (esempio in figura).

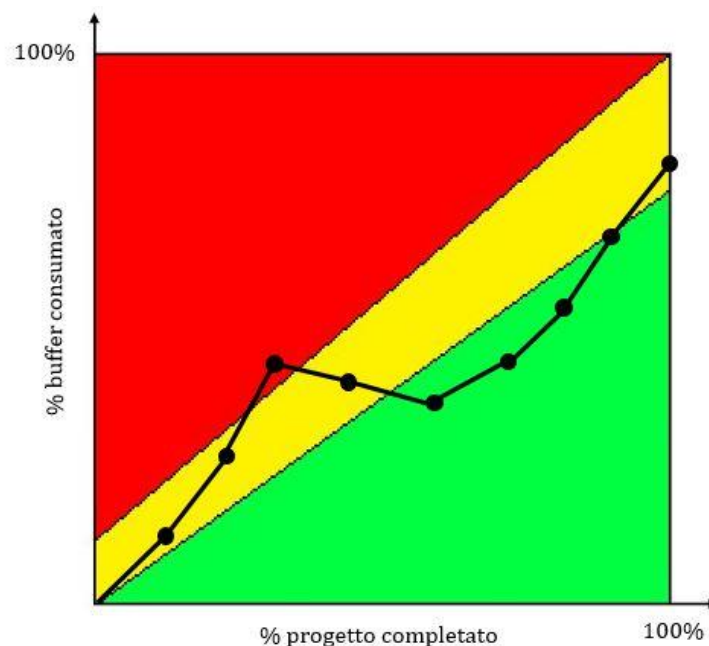


Figura 2.5

### 2.5.3 - Dimensione dei buffer

In letteratura sono stati proposti vari metodi per la stima della lunghezza dei buffer da inserire nella programmazione di un progetto. Uno di questi è stato proposto dall'ideatore della teoria CCPM Goldratt, e si tratta del *Cut and Paste Method (C&PM)*. Egli suggeriva che i buffer dovessero assumere circa metà della lunghezza complessiva della catena che in loro si immetteva, usando le stime aggressive per le durate delle attività. Questo metodo è abbastanza semplice, è lineare, il che significa che la dimensione dei buffer cresce linearmente con la

lunghezza delle parti di catena che con loro si uniscono. Tuttavia in molte occasioni questo metodo non è risultato adeguato, per progetti lunghi tende spesso a sovrastimare la durata totale del progetto, mentre per progetti corti c'è il rischio che i buffer programmati non siano sufficienti e che il progetto sfoci oltre la data di conclusione prevista. Di conseguenza questo sistema non è molto consigliato, soprattutto per quei progetti sperimentali dei quali si hanno pochi dati passati a disposizione, o dei progetti riguardanti lo sviluppo e la produzione di un nuovo prodotto.

Un secondo metodo, che forse è il più diffuso, prende il nome di *Root Square Error Method (RSEM)*. Esso per essere implementato necessita sia delle stime classiche che includono i margini di sicurezza sia delle stime aggressive utilizzate dal CCPM. Consiste nel calcolare la radice quadrata della somma delle differenze tra le stime classiche e le stime aggressive di ogni attività elevate al quadrato, ovvero la quantità:

$$Buffer = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Xc_i - Xa_i)^2}$$

Dove  $Xc_i$  indica la stima classica dell'attività  $i$  e  $Xa_i$  la stima aggressiva dell'attività  $i$ , con  $n$  numero delle attività della parte di catena che si immette nel buffer del quale si sta calcolando la dimensione. Sebbene questo metodo sia migliore del primo e consenta di programmare progetti in tempi molto più brevi dei metodi tradizionali, anche questo presenta dei difetti, infatti non tiene in considerazione la natura del progetto. Ad esempio non considera la limitatezza delle risorse e la complessità del progetto stesso nel definire la dimensione dei buffer. Quando un progetto utilizza la quasi totalità delle risorse a disposizione è più probabile che si verifichino imprevisti e ritardi, perciò i buffer dovrebbero essere un po' più grandi. Anche nel caso di un progetto con un gran numero di attività e molte precedenze tra loro è più probabile incorrere in ritardi. Quindi questi problemi suggeriscono che una tecnica veramente efficace per definire la lunghezza dei buffer debba ancora essere trovata.



## 3 – Il caso Eurocryor s.r.l.

### 3.1 – L'azienda

L'azienda Eurocryor nasce nel 1991 a Solesino, un piccolo paese della provincia di Padova, grazie all'idea di un gruppo di soci che vantavano già una pregressa esperienza nel campo della refrigerazione [riferimento 1 in Sitografia]. Lo scopo dell'azienda fu fin



Figura 3.1

da subito immettersi e conquistare quel segmento di mercato che richiedeva banchi frigo su misura, altamente personalizzabili, cercando di unire piacevolezza estetica con la tecnologia più sofisticata, senza tuttavia rinunciare alla produzione di banchi standard. L'attività produttiva cominciò in un piccolo stabilimento di 1000 mq ma già nel 1993, dopo soli due anni, ci fu l'esigenza di trasferirsi in uno stabile più grande di 5000 mq. Per il primo vero successo commerciale dell'azienda fu sufficiente attendere il 1994, anno nel quale fu presentato il banco Spherox, il primo banco frigo al mondo costruito con vetri sferici. La costante crescita aziendale ha portato nel 2005 ad un importante ampliamento dello stabilimento, passando dai 5000 mq ad addirittura 15000. La gamma e la qualità dei prodotti offerti negli anni è aumentata sempre di più, portando Eurocryor ad affermarsi sia all'interno dei confini nazionali sia in tutta Europa, Medio Oriente e Sud America. Nel settembre del 2008 l'azienda entra a far parte del gruppo EPTA, un gruppo multinazionale specializzato nella refrigerazione industriale. Da questo momento oltre a ulteriori miglioramenti dal punto di vista tecnico e produttivo nasce l'interesse per le moderne filosofie di pensiero in campo industriale, quali la *Lean Production* e per l'appunto la *Teoria dei Vincoli*. Al giorno d'oggi Eurocryor può vantare un fatturato di 22 milioni di euro, circa 200 dipendenti e una crescita continua, tant'è che è previsto un ulteriore ampliamento dello stabilimento nei prossimi anni.

### **3.2 – Gli ordini**

Eurocryor è un'azienda che lavora su commesse, qui descriveremo brevemente il processo che porta alla creazione degli ordini di produzione. L'ufficio adibito alla raccolta degli ordini e alla ricezione di richieste di preventivo è l'ufficio commerciale, che si divide in due parti distinte dal mercato di competenza, che può essere nazionale o estero. Una prima fase consiste nel discutere con il cliente il preventivo del banco frigo e le richieste specifiche riguardanti quest'ultimo. Se il cliente decide di procedere all'acquisto è compito del personale commerciale trasformare le richieste del cliente in forma standard, cioè in un apposito modulo da passare all'ufficio tecnico/produzione. In una seconda fase l'ordine viene rielaborato dall'ufficio tecnico, il quale descrive nel dettaglio le specifiche del banco e ne riporta il disegno, sia del banco nel suo insieme sia di tutti i suoi componenti. È in questa fase che viene delineato il prezzo del prodotto, il quale viene determinato in base sia alle dimensioni del banco, sia dalle componenti che necessita per essere realizzato. Una volta delineato prezzo e caratteristiche tecniche del banco, il personale dell'ufficio tecnico insieme al personale dell'ufficio produzione, grazie al sistema di programmazione degli ordini usato in azienda, definisce la data di consegna del banco frigo. Svolte queste procedure la cartella dell'ordine contenente tutte queste informazioni torna all'ufficio commerciale, che provvede a riferire tutto al cliente, il quale deve quindi confermare l'ordine. È dalla conferma dell'ordine e dal suo lancio che parte la vera e propria fase di produzione.

### **3.3 – Ufficio produzione e ciclo produttivo dell'azienda**

È compito dell'ufficio produzione organizzare le tempistiche relative agli ordini di produzione, la loro pianificazione, la schedulazione delle loro attività e il loro monitoraggio. È qui che si prendono le decisioni relative al ciclo produttivo ed è qui quindi che si studiano eventuali modifiche da apportare ad esso, come ad esempio l'implementazione della Teoria dei Vincoli all'interno dell'azienda. Prima di mostrare com'è stata implementata quest'ultima in Eurocryor è necessario però

mostrare quali sono le fasi che compongono il suo ciclo produttivo. Di seguito è riportata la tabella con tutte le attività da eseguire nella costruzione di un banco frigo con le relative precedenze, dopo di essa è mostrato il grafo che le rappresenta.

Attività	Descrizione	Precedenze
A	Reparto lamiere	Nessuna
B	Preparazione carrello alluminio	Nessuna
C	Preparazione carrello Magazzino	Nessuna
D	Acquisti	Nessuna
E	Preparazione evaporatori	Nessuna
F	Reparto elettrico	A, B
G	Montaggio (1° parte)	C, D, F
H	Montaggio (2° parte)	E, G
I	Collaudo elettrico	H
L	Imballaggio e spedizione	I

Tabella 3.1

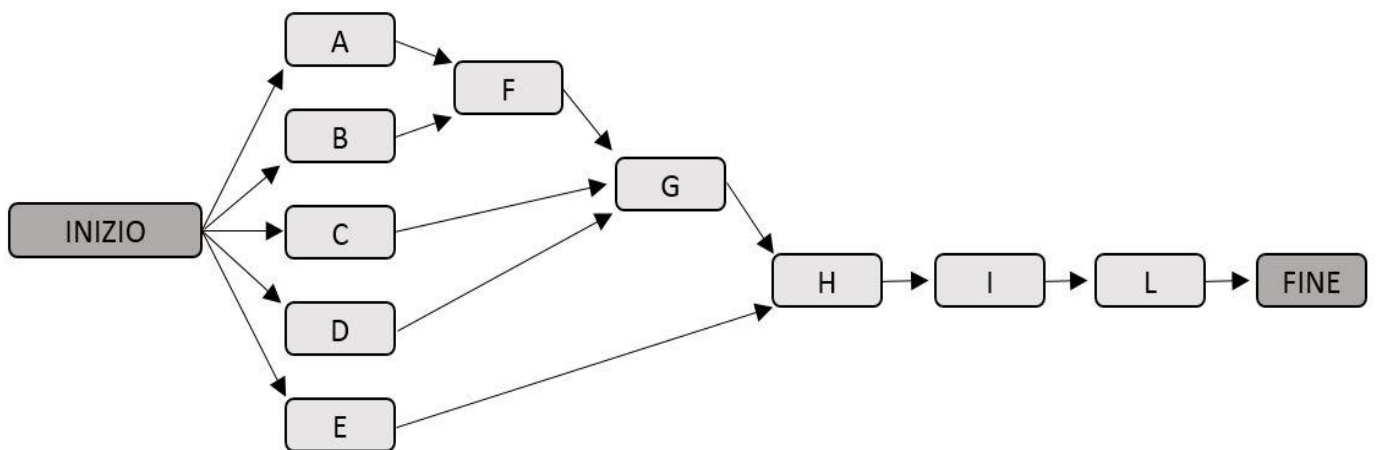


Figura 3.2

Questo è il ciclo produttivo più classico utilizzato in Eurocryor, è quello relativo alla produzione della maggior parte dei banchi standard. Il ciclo relativo alla produzione di banchi su misura è diverso da questo, poiché spesso accade che per

la loro costruzione i banchi personalizzati richiedano delle componenti particolari che non sono presenti in azienda. In questo modo la fase di acquisto diventa indispensabile prima non solo del montaggio ma anche di altri reparti, ad esempio potrebbe non essere disponibile in



Figura 3.3

azienda un evaporatore particolare o qualche componente elettrica utilizzata di rado. Di conseguenza i cicli possono assumere forme diverse, seppur di poco, di ordine in ordine. Al contrario per i banchi frigo standard quasi sempre non sono necessari acquisti, poiché i materiali sono già presenti in magazzino, quindi l'attività "Acquisti" si potrebbe addirittura togliere. Gli unici casi in cui si devono effettuare acquisti solitamente riguardano qualche pannello frontale decorativo necessario alla fase di montaggio, infatti anche i banchi standard godono della possibilità di essere personalizzati in piccola parte, di solito appunto per quanto riguarda il lato estetico. In figura un esempio di banco in cui possono essere personalizzati i pannelli frontali e laterali con materiali di proprio gradimento, si tratta del banco standard "Spring B".

### **3.4 - L'implementazione della Teoria dei Vincoli in Eurocryor**

I primi passi verso la Teoria dei Vincoli all'interno dell'azienda sono stati fatti nel corso del 2008, infatti in quell'anno sono stati sostenuti da un team selezionato tra il personale dell'ufficio tecnico/produzione dei corsi relativi all'implementazione del pensiero Lean e TOC nel contesto di un ambiente industriale. Tuttavia prima di una vera e propria implementazione di questi ultimi sono dovuti trascorrere ancora alcuni anni.



### 3.4.1 - Riduzione dell'inVENTORY

La prima forma di implementazione della Teoria dei Vincoli in Eurocryor avvenne attraverso la riduzione dell'inVENTORY, avvenuta subito dopo lo svolgimento dei corsi di formazione. In quegli anni infatti la situazione in magazzino era critica, poiché quest'ultimo era pieno di materiali e pezzi che erano o in eccesso rispetto all'effettivo fabbisogno della fabbrica, o addirittura obsoleti e quindi inutilizzabili. Furono individuate queste principali cause per spiegare il fenomeno:

- Giacenze inventariali inesatte
- Impegni di produzione di pezzi/semilavorati sbagliati in quanto le date degli ordini di produzione non venivano modificate nella programmazione della produzione a fronte di effettivi cambiamenti e spostamenti effettuati dall'ufficio tecnico/produzione.
- Errori nelle distinte base (schede tecniche relative ad ogni ordine) in quanto non venivano lanciati ordini di produzione di pezzi necessari o venivano lanciati ordini di pezzi non necessari.
- Il modello di previsione delle scorte utilizzato (basato su un modello con trend e stagionalità) forniva stime troppo variabili e inesatte.
- Mancanza di aggiornamento periodico delle politiche stabilite per la gestione dei vari codici (ogni pezzo ha un suo codice che lo identifica).

A questi motivi era sostanzialmente dovuta la gestione inefficiente del magazzino. Dati questi fatti sono state intraprese delle azioni correttive. Come prima cosa sono state create delle famiglie che raggruppassero i codici suddividendoli in base ai consumi degli ultimi 12 mesi e sulla base di un indice di variabilità di consumo. Date queste nuove famiglie la gestione di tutti i codici è risultata nettamente più agevole; infatti grazie allo studio dei consumi per famiglie si è arrivati all'individuazione di un modello di previsione delle scorte più affidabile e sono state ricalcolate le formule per la definizione delle quantità dei lotti di sicurezza. Si sono iniziati a svolgere inventari più frequentemente in modo da avere giacenze esatte e aggiornate puntualmente. Si è passati all'aggiornamento puntuale della

data di inizio e fine produzione secondo quanto pianificato ma soprattutto secondo quanto ripianificato. E infine si è adottata una politica di riordino dei codici semestrale, in modo che ogni pezzo venisse riassegnato alla famiglia di consumo corrispondente e venissero riconosciuti prontamente i codici obsoleti.

### **3.4.2 - Implementazione dei cinque passi**

La riduzione dell'inventario diede subito ottimi risultati. Il passaggio successivo consisteva nell'applicare i cinque passi della Teoria dei Vincoli; tuttavia prima di applicare quest'ultima si è dedicato più tempo all'applicazione dei metodi relativi alla Lean Production, poiché si riteneva fossero più utili alle necessità più urgenti dello stabilimento, quindi si dovette attendere per la loro implementazione. In ogni caso, i cinque passi del pensiero TOC sono stati implementati nel seguente modo:

- Passo 1, identificazione del vincolo:

L'individuazione di quale fosse il vincolo che limitava la produzione dell'azienda è stato un passo abbastanza semplice e veloce. Il team incaricato di implementare la Teoria ha iniziato a recarsi presso tutti i reparti dello stabilimento cercando di reperire maggiori informazioni possibili sul flusso di lavoro attraverso i vari reparti. È risultato subito evidente quale fosse il vincolo, ovvero il reparto adibito alla lavorazione delle lamiere. Quest'ultimo era quello con più lavoro in attesa di essere svolto e con più materiale accumulatosi dinanzi, oltre a questo il reparto immediatamente successivo doveva quasi sempre aspettare l'arrivo dei semilavorati e quindi iniziare in ritardo. In particolare il vincolo non era dato dal personale, e cioè da un numero non adeguato di operai, ma proprio dalle macchine piegatrici presenti (all'epoca erano cinque).

- Passo 2, sfruttare al massimo il vincolo di sistema:

Una volta individuato il vincolo il passo successivo è dato dallo sfruttare al massimo le sue possibilità. Inizialmente il personale all'interno del reparto vincolante lavorava otto ore al giorno dalle 8:00 alle 17:00 con un'ora di pausa pranzo alle 12:00, e le macchine erano attive di conseguenza. Successivamente per sfruttare al meglio i macchinari presenti sono stati creati due turni, ovvero un turno dalle 7:00 alle 16:00 con pausa alle 12:00 e un turno dalle 8:00 alle 17:00 con pausa alle 13:00. In questo modo si sono aggiunte due ore di lavoro giornaliera al reparto per farlo produrre di più. Oltre a questo, sono stati ridotti i tempi di setup cercando di processare nello stesso momento tutti quei materiali simili e lavorabili congiuntamente.

- Passo 3, subordinare tutti i reparti al vincolo:

Dopo aver programmato a dovere il vincolo di sistema in modo da farlo lavorare al massimo è venuto il momento di adeguare il resto della produzione alla capacità del vincolo. In origine, gli ordini di produzione di pezzi e semilavorati più comuni venivano lanciati in modo da produrne in lotti che dovevano far fronte al fabbisogno dell'azienda per due mesi. Così facendo il flusso di materiali prodotti era molto più grande del flusso che poteva sostenere il reparto di lavorazione delle lamiere, e tutto il surplus serviva solamente a incrementare inutilmente le scorte in magazzino. Questo problema fu già risolto in parte quando si ridusse l'inventario negli anni precedenti, tuttavia il terzo passo della Teoria dei Vincoli sottolineò la necessità di intervenire ancora su questo versante. Di conseguenza i lotti lanciati in produzione vennero ridotti passando da una prospettiva di due mesi a quella di un mese, e poi ancora fino ad arrivare alla produzione a una settimana, in modo da poter monitorare meglio ed eventualmente ridurre il carico di produzione in base alla situazione del reparto vincolante e del carico di magazzino. Questo per quanto riguarda i pezzi e semilavorati più utilizzati, i quali possono essere messi a magazzino nell'attesa di essere utilizzati. Anche per quanto riguarda il reparto montaggio ci furono dei

cambiamenti, infatti prima si assemblava tutto l'assemblabile e ciò che ne risultava (assemblaggi parziali che attendevano i semilavorati del reparto lamiere) venivano anch'essi messi in attesa. Invece si procedette al lavorare solo su un montaggio per volta, al ritmo che le macchine piegatrici riuscivano a sostenere in modo da limitare i lavori in sospeso.

- Passo 4, elevare il vincolo di sistema:

Il passo dei cinque che fu implementato con più difficoltà in Eurocryor fu proprio questo. Nonostante dai passi precedenti risultasse chiaro quale fosse il vincolo che limitava la produzione del sistema, ovvero il reparto delle lavorazioni alle lamiere, l'acquisto di una macchina piegatrice in più è stato a lungo discusso prima di essere effettuato. Una volta ottenuto il consenso anche delle persone più restie fu acquistata la sesta macchina piegatrice, fin da subito risultò una mossa vincente, infatti lo sforzo economico, sebbene importante, fu ammortizzato in pochissime settimane. Nella tabella seguente sono mostrati alcuni dati che confrontano il periodo antecedente all'acquisto e il periodo successivo all'acquisto.

	2015	2014
Fatturato	22.000.000	20.000.000
Throughput	12.980.000	11.800.000
Inventory	1.900.000	1.900.000
Spese Operative	10.780.000	9.800.000
Ritorno sugli investimenti	1,16	1,05

Tabella 3.2

- Passo 5, Non lasciare che l'inerzia diventi il vincolo di sistema e ricominciare:

Una volta completati i cinque passi probabilmente il vincolo di sistema si sarà spostato e sarà diventato un altro reparto del ciclo produttivo. In Eurocryor è successo esattamente questo, ora il reparto adibito alla lavorazione delle lamiere non è più il vincolo dello stabilimento. Il reparto che ora ha minor capacità produttiva tra tutti è quello dove vengono assemblati i banchi frigo, cioè il reparto montaggio. In azienda, dove ormai i miglioramenti dovuti all'implementazione della Teoria dei Vincoli sono sotto gli occhi di tutti, si sta già pensando a come sfruttare al massimo il nuovo vincolo per ottenere risultati ancora migliori di questi.

### **3.4.3 – Implementazione del metodo CCPM**

Ad oggi nell'azienda in cui ho svolto la mia esperienza di stage il metodo Critical Chain Project Management non è utilizzato per la schedulazione delle attività che compongono il ciclo di produzione dei banchi frigo. Solitamente per ogni tipo di banco c'è un tempo prefissato per la sua realizzazione che può variare in base alla lunghezza, ad esempio per i banchi standard solitamente ci si aggira intorno ai 10 giorni più un periodo di attesa tra la creazione della distinta base da parte dell'ufficio tecnico e l'effettivo inizio della produzione, quindi circa tre settimane. In questi tempi prefissati per la produzione sono già inseriti dei tempi di sicurezza per cercare di far fronte ad eventuali imprevisti. Per quanto riguarda i banchi su misura invece i tempi di realizzazione si allungano e possono variare abbastanza tra loro, soprattutto in base alla necessità o meno di acquistare componenti particolari che possono richiedere un lungo periodo di attesa. In ogni caso la durata prevista della loro realizzazione è determinata nell'ultima fase della creazione dell'ordine dal personale dell'ufficio tecnico e produzione in base alle variabili del caso. L'azienda sta approfondendo la conoscenza della teoria CCPM, infatti sono stati svolti di recente degli stress test per determinare eventuali stime aggressive da utilizzare in una futura implementazione. I test sono stati svolti sul

banco frigo standard “Bistrot alzabile” ed hanno evidenziato che lavorando al massimo e senza il bisogno di acquisti specifici il tempo complessivo necessario alla realizzazione è stato di soli tre giorni. In figura è riportato il disegno tecnico del banco in questione visto di profilo, questo è uno dei molti fogli che compongono la distinta base di un ordine di produzione.

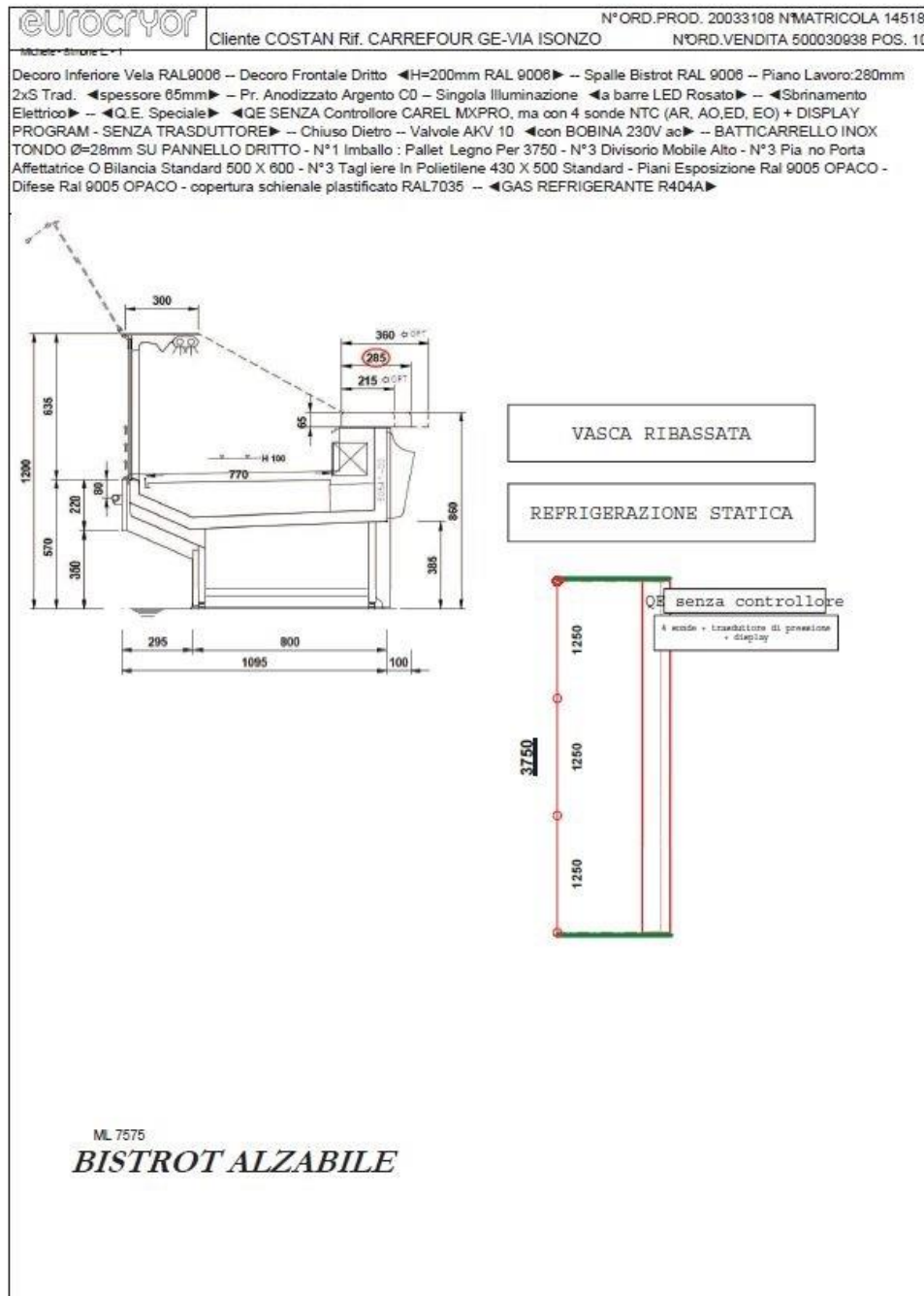


Figura 3.4

## CONCLUSIONI

Questa tesi è nata con lo scopo di introdurre al pensiero proposto dalla Teoria dei Vincoli e mostrarne un'applicazione nel mondo reale. Poiché probabilmente sarebbero risultati fuori tema rispetto al taglio pratico della relazione, non ci si è addentrati nello specifico di dimostrazioni matematiche o di teorie statistiche, quali avrebbero potuto essere ad esempio l'illustrazione di algoritmi per la risoluzione del *Resource Constrained Project Scheduling Problem* o test per trovare la distribuzione statistica della durata delle attività di un progetto. Ciò tuttavia rappresenta un'ottima opportunità di approfondire maggiormente gli argomenti trattati, infatti il loro lato matematico/statistico non è approfondito a dovere in letteratura, o almeno nel materiale che ho potuto reperire all'interno delle biblioteche dell'Università degli Studi di Padova e online. A prescindere da questo, che comunque resta soltanto una mia opinione, i lati positivi che si prospettano ad un'azienda che decide di implementare al suo interno il pensiero TOC sono evidenti. A primo impatto i suoi concetti possono sembrare semplici pratiche di buon senso e ovvietà, e forse è così, tuttavia non dovrebbero essere dati per scontati. Il caso Eurocryor credo ne possa essere un esempio, quest'ultima infatti era considerata un'azienda di successo anche prima dell'applicazione della Teoria dei Vincoli, e forse non erano pronosticabili tutti questi miglioramenti adottando semplici regole che potrebbero risultare banali per la loro semplicità. Eppure i risultati operativi sono migliorati abbastanza come abbiamo visto. I miei colleghi in ufficio mi hanno fatto notare come siano ancora poche le aziende che adottano queste filosofie in Italia, e credo che la veridicità di ciò sia confermata dal fatto che c'è pochissimo materiale che tratta questi argomenti in lingua italiana, e quel poco che c'è li tratta in maniera superficiale e poco approfondita. È doveroso sottolineare comunque che questi risultati sono stati frutto di un'applicazione congiunta della Teoria dei Vincoli e della *Lean Production*, e quindi non solo della prima.





## BIBLIOGRAFIA

1. Cox J. D., Spencer M. S., *The Constraints Management Handbook*, Boca Raton, St. Lucie press, 1998
2. Dettmer W. H., *Goldratt's Theory of Constraints: A Systems Approach to Continuous Improvement*, Milwaukee, ASQ Quality Press, 1997
3. Dilmaghani F., *Critical Chain Project Management (CCPM) at Bosch Security Systems (CCTV) Eindhoven*, University of Twente, School of Management and Governance, Agosto 2008
4. Goldratt E. M., Cox J., *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*, Great Barrington, North River Press, 1984
5. Rand G.K., Critical Chain: the Theory of Constraints Applied to Project Management, *International Journal of Project Management*, Vol. 18, N. 3, p. 173-177, giugno 2000
6. Raz T., Barnes R., Dvir D., A Critical Look at Critical Chain Project Management, *Project Management Journal*, Vol, 34, N. 4, p. 24-32, dicembre 2003.
7. Shams-ur R., Theory of Constraints: a Review of the Philosophy and its Applications, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 18, N. 4, p. 336-355, 1998.
8. Tripp J., *TOC Executive Challenge: A Goal Game (versione italiana a cura del Dr. Nicola Nabacino)*, Great Barrington, The North River Press Publishing Corporation, 2005



## **SITOGRAFIA**

1. [www.eurocryor.com/it](http://www.eurocryor.com/it): sito ufficiale di Eurocryor s.r.l.
2. [www.pmknowledgecenter.com](http://www.pmknowledgecenter.com): sito nel quale vengono trattati i più svariati argomenti di Project Management