

Università degli Studi di Napoli

“FEDERICO II”



Dottorato di Ricerca in Economia e Management delle Aziende e delle Organizzazioni
Sanitarie

**Utilizzo della Simulazione ad Eventi Discreti come Strumento
per l'Analisi ed il Re-engineering dei Processi Sanitari**

RELATORE

Ch.mo Prof.Ing. Alessandro Pepino

CANDIDATO

Ing. Adriano Torri

A Laura

Sommario

1.	INTRODUZIONE	5
1.1	<i>CONTESTO DI RIFERIMENTO</i>	6
1.2	<i>ATTIVITÀ DI RICERCA</i>	8
1.3	<i>IL LAVORO DI TESI</i>	9
2.	MATERIALI E METODI	11
2.1	<i>SISTEMI E PROCESSI AZIENDALI</i>	11
2.2	<i>GESTIONE DEI PROCESSI AZIENDALI: I SISTEMI DI BUSINESS PROCESS MANAGEMENT</i>	14
2.3	<i>LA MODELLAZIONE DEI PROCESSI TRAMITE WORKFLOW</i>	17
3.	I MODELLI	19
3.1	<i>SIMULAZIONE</i>	23
3.2	<i>TIPICI DI SIMULAZIONE</i>	24
3.2.1	<i>SIMULAZIONE AD EVENTI DISCRETI</i>	26
3.3	<i>I SISTEMI DI SIMULAZIONE</i>	30
3.4	<i>TOOL DI SIMULAZIONE SIMUL8</i>	32
3.5	<i>CONSTRUZIONE DI UN MODELLO DI SIMULAZIONE</i>	34
3.6	<i>VERIFICA E VALIDAZIONE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE</i>	39
3.6.1	<i>VERIFICA</i>	40
3.6.1.1	<i>APPLICAZIONE DELLE TECNICHE DI VERIFICA DI UN MODELLO DI SIMULAZIONE</i>	42
3.6.2	<i>VALIDAZIONE</i>	42
4.	CASI DI STUDIO	48
4.1	<i>UTILIZZO DELLA SIMULAZIONE AD EVENTI DISCRETI PER L'ANALISI QUANTITATIVA DEI FLUSSI DI LAVORO DEL CENTRO DI CURA DELL'IPERTENSIONE DELL'AZIENDA OSPEDALIERA UNIVERSITARIA FEDERICO II DI NAPOLI</i>	48
4.1.1	<i>CONTESTO DI RIFERIMENTO</i>	49
4.1.2	<i>DISEGNO DEL MODELLO</i>	49
4.1.3	<i>DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI FUNZIONAMENTO DEL PROCESSO</i>	53
4.1.4	<i>STIMA DEI COSTI DELLE RISORSE</i>	54
4.1.5	<i>DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI SMISTAMENTO</i>	55
4.1.6	<i>ESECUZIONE DELLA SIMULAZIONE</i>	58
4.1.7	<i>ANALISI DEI RISULTATI E VALIDAZIONE DEL MODELLO</i>	61

4.1.8	RISULTATI DELLO STUDIO.....	65
4.2	<i>STUDIO DEI FLUSSI DI LAVORO DI UN LABORATORIO DI ANALISI CLINICHE MEDIANTE L'USO DELLA SIMULAZIONE AD EVENTI DISCRETI.....</i>	67
4.2.1	ATTIVITÀ DEL LABORATORIO DI ANALISI ED ORGANIZZAZIONE DEI FLUSSI DI LAVORO	68
4.2.2	COSTRUZIONE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE	70
4.2.3	FASI DALLA RICHIESTA ALL'ESECUZIONE DEGLI ESAMI	75
4.2.4	FASI DAI RISULTATI ALLA REFERTAZIONE.....	77
4.2.5	VALIDAZIONE ED ANALISI DEL MODELLO DI SIMULAZIONE	78
4.2.6	ANALISI "AS-IS"	79
4.2.7	ANALISI "WHAT-IF"	80
4.2.8	RISULTATI DELLO STUDIO.....	80
4.3	<i>DES E BPM PER L'ANALISI QUANTI-QUALITATIVA DEI SISTEMI: RISULTATI</i>	86
4.4	<i>SCHEMA DI PRINCIPIO DI UN MODELLO DI SIMULAZIONE AD EVENTI DISCRETI PER UN REPARTO OSPEDALIERO.....</i>	87
4.4.1	MATERIALI E METODI	88
4.4.2	FUNZIONAMENTO DEL MODELLO.....	92
4.4.2.1	MODALITÀ DI FUNZIONAMENTO VINCOLATA	94
4.4.2.2	MODALITÀ DI FUNZIONAMENTO LIBERA	95
4.4.3	VALIDAZIONE DEL MODELLO	95
4.4.4	RISULTATI	95
4.5	<i>UTILIZZO DELLA SIMULAZIONE AD EVENTI DISCRETI PER FINALITÀ FORMATIVE: RISULTATI.....</i>	97
5.	SVILUPPI FUTURI: UTILIZZO DELLE TECNICHE DI PROCESS MINING A SUPPORTO DELLA SIMULAZIONE.....	99
6.	CONCLUSIONI.....	104
	BIBLIOGRAFIA	108

1. INTRODUZIONE

Il contesto sanitario è particolarmente complesso in quanto caratterizzato da alti livelli qualitativi richiesti, bassi costi di gestione imposti e gestione degli asset, materiali e non, vincolata ai criteri di efficienza, efficacia ed economicità definiti in sede di pianificazione centrale a seguito delle varie riforme del settore [1][2][3]. Tali riforme, susseguitesi nel corso degli ultimi trent'anni, si sono rese necessarie per evitare che il sistema arrivasse a una condizione di default; ma i primi risultati della riorganizzazione di questo settore sono stati scarsi poiché viziati dall'erronea convinzione che bastasse definire nuovi assetti organizzativi per avere un conseguente riassetto gestionale, funzionale e, soprattutto, finanziario: cosa che non si è verificata.

Le regole di "domanda" e "offerta" alla base del settore sanitario non possono semplicemente riportarsi ai classici paradigmi funzionali tipici dei sistemi commerciali ma sono determinate in maniera complessa da una serie di fattori difficilmente analizzabili, schematizzabili e definibili. In questo contesto per riuscire a gestire al meglio tali sistemi, si necessitano di nuove tecniche di analisi e gestione, e proprio su questo si è incentrato lo studio.

In questo lavoro sarà mostrato come, alla necessità di individuare nuove metodologie e tecniche per l'analisi e la gestione dei sistemi sanitari, si è risposto con l'individuazione di una nuova metodologia che, sfruttando le tecniche di Simulazione ad Eventi Discreti [4] e le teorie del Business Process Management [5][6][7][8], permetta di fornire uno strumento in grado di:

- Analizzare in maniera puntuale i sistemi;
- Analizzare i sistemi come insieme di processi e non solo come insieme di dati;
- Fare valutazioni predittive sul comportamento dei sistemi in funzione delle reali condizioni operative;
- Capire le ricadute pratiche di ogni scelta effettuata e/o effettuabile circa la gestione di un sistema, in funzione d'indicatori di performance analiticamente valutabili;
- Migliorare il livello di controllo, e quindi di gestione, sui sistemi.

1.1 CONTESTO DI RIFERIMENTO

Le più diffuse metodologie di analisi e gestione dei sistemi in ambiente sanitario utilizzate fino ad oggi, appartengono a due categorie:

- Metodologie ex-post, cioè l'analisi della situazione aziendale basata su informazioni ricavate a posteriori dal processo;
- Metodologie ex-ante, che sono tecniche che si basano su informazioni e dati teorici e non verificabili direttamente sul campo.

Queste tecniche sono, largamente utilizzate nel contesto aziendale ma, applicate al contesto sanitario, non riescono ad avere la stessa efficacia, non permettendo di avere informazioni in tempo reale sul comportamento del sistema e quindi di apportarvi le necessarie azioni correttive in tempi ragionevolmente rapidi.

Tecniche di analisi dei dati in tempo reale esistono ma sono scarsamente applicate al contesto sanitario, se non in ambiti ben definiti e specifici, a causa della complessità e variabilità di tale contesto: i processi che caratterizzano il sistema sanitario sono molto complessi e rapidi e richiedono il coinvolgimento di numerose figure professionali nonché il trattamento di una grande mole di dati [9] ed i manager delle strutture sanitarie si trovano a dover assicurare servizi ai cittadini che rispettino elevati standard qualitativi, mantenendo bassi costi [3]. Tecniche largamente utilizzate nel contesto sanitario per la valutazione delle tecnologie e delle procedure sono l'Health Technology Assessment (HTA) [10] e l'Horizon Scanning (HS) [11]; tali metodologie di analisi sono utilizzate da sempre a supporto dei sistemi di controllo di gestione per indagini quali-quantitative delle tecnologie e delle procedure. Sono tecniche di tipo ex-ante, permettono di ricavare informazioni in maniera puntuale sui processi e fornire indicatori sullo stato dei sistemi in maniera predittiva rispetto all'introduzione di una nuova tecnologia o procedura ma senza fornire informazioni e dati circa il comportamento del sistema nel quale la nuova tecnologia o procedura sarà inserita: non permettono cioè di valutare le performance del sistema a seguito dell'introduzione, o meno, di una nuova tecnologia o procedura.

I sistemi di gestione oggi utilizzati nel contesto sanitario sono comunemente definiti sistemi di Business Intelligence [12]; con tale termine ci si riferisce a sistemi che

permettono la raccolta di dati con lo scopo di analizzare le attività passate di un organizzazione per capirne il funzionamento, i problemi e cercare di valutare le performance e di stimare il funzionamento futuro. Attualmente una delle criticità che si viene a creare con tali sistemi è che essi sono alimentati con dati raccolti in maniera asincrona rispetto al momento della valutazione e funzionano quindi come sistemi di reportistica interna che forniscono informazioni sul comportamento passato del sistema e predicendone il comportamento futuro sulla base di informazioni che non necessariamente rispecchiano il comportamento attuale del sistema e che quindi potrebbero non avere alcun senso dal punto di vista dell'analisi gestionale. Questa condizione è molto rischiosa poiché attraverso un'errata valutazione gestionale si rischiano di implementare soluzioni gestionali che non rispondono ai bisogni dell'azienda e che anzi possono addirittura essere dannose. Inoltre i sistemi di business intelligence si basano sull'analisi dei processi e dei flussi di lavoro, e per questo richiedono dati precisi ed accurati che permettano di descriverne tutte le fasi, molto spesso però tali sistemi sono utilizzati in contesti in cui i preesistenti sistemi informativi erano, e sono, basati su architetture data centriche, basate su logiche di raccolta dati completamente differenti da quelle utili ai fini della gestione dei processi, ma che sono difficili da modificare perché troppo estese o troppo complesse; in tali situazioni i sistemi di business intelligence sono impiegati lo stesso ma diviene difficoltoso riuscire ad avere informazioni precise e puntuali sui flussi di lavoro e sui processi interni all'azienda sanitaria e questo non fa che peggiorare la qualità delle informazioni ricavate da questi sistemi. Oltre al problema legato al tipo di sistema di raccolta delle informazioni, vi sono quelli relativi all'obsolescenza dei dati raccolti e all'impossibilità di avere informazioni in real-time sul funzionamento dei sistemi. Con questo studio ci si è posti l'obiettivo di individuare una metodologia che permettesse di:

- Fare analisi precise ed accurate dei sistemi sanitari riuscendo a fornire informazioni puntuali e precise sui processi interni, sulle cause di problemi e sulle performance a partire dai dati così come sono nei sistemi informativi;
- Fare analisi di tipo predittivo basate sia su dati storici che su dati real time in maniera rapida, con bassi costi di gestione ed in maniera facilmente comprensibile [13].

Tale metodologia si basa sui concetti di reingegnerizzazione e gestione dei processi e per la sua messa in pratica, necessita dell'utilizzo di strumenti di simulazione dei processi [13]; partendo dallo studio dei sistemi di work flow management, sono state studiate le tecniche utilizzate per l'impiego dei sistemi di simulazione a supporto dei sistemi gestionali in sanità [14][15].

1.2 ATTIVITÀ DI RICERCA

Il problema che ci si è trovato ad affrontare è stato quello di riuscire ad individuare delle nuove metodologie di analisi e gestione che permettessero di superare i problemi visti fino ad ora consentendo di:

- Fare analisi precise ed accurate dei sistemi sanitari riuscendo a fornire informazioni puntuali e precise sui processi interni, sulle cause di problemi e sulle performance a partire dai dati così come sono nei sistemi informativi;
- Fare analisi di tipo predittivo basate sia su dati storici che su dati real time in maniera rapida, con bassi costi di gestione ed in maniera facilmente comprensibile .

Nel presente lavoro di ricerca è stato effettuato prima uno studio su varie tipologie di software per la gestione dei flussi di lavoro [16] e l'analisi dei processi aziendali, tra i quali sistemi di simulazione basati sulle Reti di Petri [17], concentrando l'attenzione sul simulatore Woped [18]. Mediante l'utilizzo di tale software sono stati eseguiti vari studi incentrati sull'analisi delle attività, delle risorse, dei tempi e dei costi associati a vari flussi di lavoro inerenti al settore sanitario come ad esempio il flusso di lavoro relativo alla centralizzazione degli acquisti di farmaci e dispositivi medici all'interno della Regione Campania [19] o il flusso di lavoro del Centro di Ipertensione dell'AOU Federico II [20].

Le tecniche di simulazione attraverso le reti di Petri consentono di valutare quantitativamente molti degli aspetti legati alle risorse, ai tempi e ai costi di un determinato flusso di lavoro in funzione di come esso è strutturato, ma non permettono di avere una rappresentazione ottimale per flussi di lavoro particolarmente complessi ed articolati, nei quali devono inoltre essere fatte anche valutazioni sul comportamento del sistema al cambiare delle condizioni operative. In tali condizioni di analisi, più agevoli risultano strumenti di simulazione ad eventi

discreti [21][22]. Approfondendo quindi lo studio dei sistemi di simulazione e delle teorie dell'ottimizzazione dei processi, l'attività di ricerca è proseguita con lo studio di sistemi di simulazione ad eventi discreti (DES), focalizzando l'attenzione sull'impiego del software Simul8 [23]. La tecnica della Simulazione ad Eventi Discreti ben si adatta alle tecniche di analisi dei processi precedentemente nominate in quanto permette di supportare le attività di gestione dei processi a tutto tondo, dalla definizione delle attività, al monitoraggio ed all'integrazione dei processi aziendali al fine di creare un processo orientato a rendere efficiente ed efficace il business dell'azienda [24][25].

Con l'utilizzo di tale software, partendo da uno studio [20] fatto con il simulatore Woped, sono stati analizzati i workflow del Centro di Ipertensione dell'AOU Federico II [21], individuandone i "colli di bottiglia" che determinano la generazione delle code e l'allungamento delle liste di attesa, ed i tempi per l'accesso alle cure da parte dei cittadini; a valle dell'analisi sono state poi proposte delle soluzioni per la risoluzione delle problematiche trovate.

È possibile fare molte analisi e valutazioni mediante l'utilizzo di questa metodologia andando a valutare molteplici strutture, analizzando diversi tipi di flussi di lavoro ed ottenendo molteplici risultati ma, fondamentalmente., è possibile individuare due principali utilizzi che possono essere fatti di questa metodologia:

- Analisi puntuali che hanno come fine ultimo quello di ottimizzare le prestazioni di un sistema aumentando efficienza ed efficacia dei suoi processi di business;
- Analisi fatte con lo scopo di aumentare la conoscenza circa un determinato sistema.

1.3 IL LAVORO DI TESI

In questo lavoro di tesi saranno presentati tre lavori, due riguardanti la prima tipologia di utilizzo che di questo strumento di analisi può essere fatta, uno per la seconda.

Il primo è un lavoro nel quale sono stati studiati i work flow del Centro di Ipertensione dell'Azienda Ospedaliera Universitaria Federico II, il secondo studio presentato è un lavoro inerente lo studio e l'analisi puntuale delle prestazioni di un Laboratorio di Analisi del Presidio Ospedaliero San Paolo di Napoli.

Il terzo studio concerne l'analisi dei work flow di un reparto chirurgico di una struttura complessa, come può essere un'Azienda Ospedaliera Universitaria, con lo scopo di

studiarne i comportamenti ed accrescerne la conoscenza dei processi interni e dei comportamenti, migliorandone la comprensione da parte di tutti i tipi di utenti, sia coloro che vi lavorano che non.

Nei primi due casi studio riportati sono state eseguite valutazioni di tipo qualitativo inerenti tempi, costi e percentuali di utilizzo del personale, nell'ultimo invece la simulazione è servita come strumento formativo/educativo per migliorare la conoscenza del personale sui processi interni della struttura analizzata.

Durante l'attività di ricerca è inoltre emersa la necessità, al fine di utilizzare in maniera corretta un modello di simulazione per l'analisi e la re-ingegnerizzazione dei processi, di validare e verificare tali modelli.

Non essendo presente in letteratura un protocollo standard e univoco per la validazione dei modelli di simulazione, le attività di studio sono state indirizzate anche verso la ricerca di una tecnica, utilizzabile a prescindere dal sistema analizzato, che permettesse agilmente di validare i modelli di simulazione creati.

2. MATERIALI E METODI

In questa prima parte del lavoro di tesi è presentato il frame work nel quale si inseriscono le tecniche studiate.

2.1 SISTEMI E PROCESSI AZIENDALI

Il primo concetto da introdurre è quello di sistema: un sistema, nella sua accezione più ampia è definibile come un insieme di elementi interconnessi tra di loro e/o con l'ambiente esterno, le cui relazioni sono definibili mediante equazioni matematiche di differente grado a seconda della loro complessità, che si comporta come un tutt'uno seguendo proprie regole di funzionamento [26]. Un sistema è definibile attraverso la descrizione dei processi che lo caratterizzano, ma cos'è un processo?

Un processo, o meglio un processo aziendale per quanto riguarda lo studio, è definibile come "insieme organizzato di attività e decisioni, finalizzato alla creazione di un output in grado di soddisfare la domanda del cliente" [27].

Le attività sono le operazioni necessarie alla realizzazione di un prodotto; queste possono essere di varia natura e possono essere classificate in attività di acquisizione di risorse o di cessione di servizi.

L'output del processo aziendale, è costituito da un bene, un servizio, un'informazione o anche una combinazione di questi elementi; con il termine output non si intende il solo risultato dell'operazione tecnica di erogazione di un bene o di un servizio, ma anche una serie di componenti ulteriori, che danno valore aggiunto al prodotto, e che derivano sia dal processo di produzione che dal sistema di produzione stesso.

Quando si parla di processi aziendali, si utilizza spesso la dizione anglosassone "business process".

Rappresentando il business process, la modalità operativa con la quale un'organizzazione struttura le proprie attività e le risorse necessarie alla produzione di un bene o all'erogazione di un servizio, le organizzazioni necessitano di dotarsi di buoni modelli organizzativo/funzionali al fine di riuscire ad ottenere buone performance in termini di efficienza ed efficacia del sistema.

L'efficienza con cui il servizio/prodotto è erogato, determina il valore aggiunto che il cliente, sia esso destinatario del servizio o fruitore del prodotto, conseguirà al termine

dell'attività; inoltre un miglioramento dell'efficienza, incidendo positivamente sul costo del processo, garantisce anche una riduzione dei costi di produzione, e quindi generali del sistema.

La grandezza di un'organizzazione e la portata dei servizi che essa eroga, contribuiscono a determinare in maniera diretta la crescita, in complessità e numero, dei suoi business process. Nelle organizzazioni vi è quindi la necessità di implementare delle politiche di definizione, gestione e mantenimento dei business process.

Un business process è un qualcosa di complesso all'interno del quale si possono distinguere tre elementi principali:

- **Attività:** è la parte fondamentale, non ulteriormente divisibile di un processo, che non include decisioni; le attività possono dividersi in operazioni eseguite su oggetti fisici e/o intangibili, oppure in decisioni assunte dagli attori del processo;
- **Sotto-processo:** è una parte del processo che comprende più attività ed ha propri attributi in termini di obiettivo, input e output; un sotto-processo concorre comunque al raggiungimento dell'obiettivo più generale del processo del quale fa parte;
- **Progetto:** particolare tipo di processo aziendale, volto al conseguimento di uno specifico obiettivo in un determinato tempo e con determinate risorse, che non è la sostanziale ripetizione di processi già svolti.

Normalmente in un business process sono coinvolti più organi aziendali, il cui apporto è coordinato attraverso un flusso di lavoro – work flow nella dizione anglosassone. Ciascun business process è gestito da una singola organizzazione, ma può interfacciarsi con processi messi in atto da altre organizzazioni. L'attività di coordinamento può essere portata avanti in molteplici modi:

- Formalizzando in procedure, i compiti e le responsabilità degli organi aziendali coinvolti in uno specifico processo;
- Definendo un'apposita figura professionale, con la necessaria autorità funzionale che funga da leader del processo (process manager);
- Raggruppando in un'unica unità organizzativa tutti gli organi coinvolti nel processo definito.

I clienti sono i destinatari dell'output dell'azienda, e possono essere anche interni all'azienda; in particolare a seconda che un processo si destinato a soggetti esterni o interni all'azienda possiamo distinguere tra due tipi di processo:

- I processi primari, i destinatari sono soggetti esterni all'azienda;
- I processi di supporto (ai processi primari), i destinatari sono soggetti interni all'azienda.

Considerando il nostro settore di riferimento, quello sanitario, parleremo non di processi aziendali o di business in generale ma bensì di processi sanitari e proprio in merito a questi, sempre più negli ultimi anni, sta emergendo la necessità di utilizzare strumenti nuovi di analisi, quali la simulazione che possano permettere alle aziende sanitarie di affrontare in maniera concreta e risolutiva l'arduo compito di gestire i processi clinico-sanitari, stimati tra i più complessi al mondo, in maniera efficiente, portando al contempo avanti il continuo e necessario miglioramento del Sistema Sanitario.

I processi tipici delle aziende sanitarie possono essere classificati in due categorie:

- Processi organizzativi (ad esempio la gestione degli ordini o la sintesi dei risultati), che possono essere sia specifici per paziente ma anche generali coinvolgendo più soggetti; tali tipi di processo sono utilizzati per coadiuvare il coordinamento inter-funzionale tra i professionisti sanitari e le unità organizzative, ma ci sono anche processi organizzativi che hanno come risultato un qualcosa fornito direttamente all'utente esterno al sistema, al paziente;
- Processi medici di trattamento (la cura di patologie), a differenza dei primi, questi sono molto legati al paziente, in quanto molto specifici; hanno una dipendenza molto forte dalle conoscenze mediche e dalle decisioni che il personale sanitario prendere in ogni singolo caso. Questi processi seguono un ciclo "diagnostico-terapeutico" basato su osservazione, ragionamento e azione: ogni passo del ciclo è finalizzato a ridurre l'incertezza legata alla conoscenza circa lo stato di salute del paziente.

2.2 GESTIONE DEI PROCESSI AZIENDALI: I SISTEMI DI BUSINESS PROCESS MANAGEMENT

A causa della complessità e del numero di processi che possono essere presenti all'interno di un'organizzazione, di implementare politiche, sistemi e tecniche di definizione, gestione e mantenimento dei processi aziendali. Dalla considerazione che ogni prodotto è funzione di un certo numero di risorse (umane, materiali e di tempo) utilizzate, nasce l'approccio al Business Process Management. I Sistemi Informativi Sanitari giocano un ruolo fondamentale in tale scenario in quanto per una corretta gestione dei business process sono necessarie informazioni chiare, ben definite e ottenibili in tempi certi.

Esistono differenti definizioni di Business Process Management, ma in generale è possibile affermare che il BPM è una disciplina gestionale che, utilizzando un approccio sistematico e strutturato permette di supportare la gestione dei processi di business di un'organizzazione grazie all'adozione di metodiche, tecniche e tecnologie che garantiscono il raggiungimento degli obiettivi di business definiti in sede di pianificazione aziendale accordando il comportamento dei business process a questi obiettivi.

Concetto fondamentale del Business Process Management è quello della modellazione dei processi, visti come l'insieme delle relazioni e delle attività che coinvolgono tutte le risorse che operano per il raggiungimento di un obiettivo comune; una volta definito il processo è possibile analizzarlo e ottimizzarlo.

La gestione dei processi in molti casi avviene in modo manuale, ci si affida all'esperienza personale degli operatori ed alla documentazione cartacea; si stanno però diffondendo negli ultimi anni parecchi sistemi informativi in grado di coadiuvare le attività aziendali, traendone al contempo informazioni utili alla gestione dei processi. Il punto di arrivo di questa informatizzazione dei processi sono i cosiddetti Business Process Management Systems (BPMS), cioè dei sistemi software esplicitamente progettati per gestire l'esecuzione dei processi di business. Questi sistemi rientrano nel quadro più ampio delle tecniche di business intelligence poiché permettono di migliorare le attività di gestione, controllo e valutazione dei sistemi e di avere una totale integrazione delle attività di gestione dei processi [28] migliorandone

al contempo la comprensione, rispetto ai classici modelli realizzati con diagrammi di flusso o altre tecniche simili.

La disciplina che si occupa dell'analisi e gestione dei processi prende il nome di Workflow Management; attraverso l'adozione delle tecniche e metodiche proprie di questa disciplina si mira ad ottenere un'esatta descrizione di uno, o più processi, finalizzata a guidarne l'esecuzione dello stesso con una determinata performance.

La messa in piedi di un BPMS è un processo iterativo, formato da una serie di cinque stadi che si ripetono ciclicamente uno dopo l'altro, questa ripetizione viene definita Business Process Lifecycle [29].

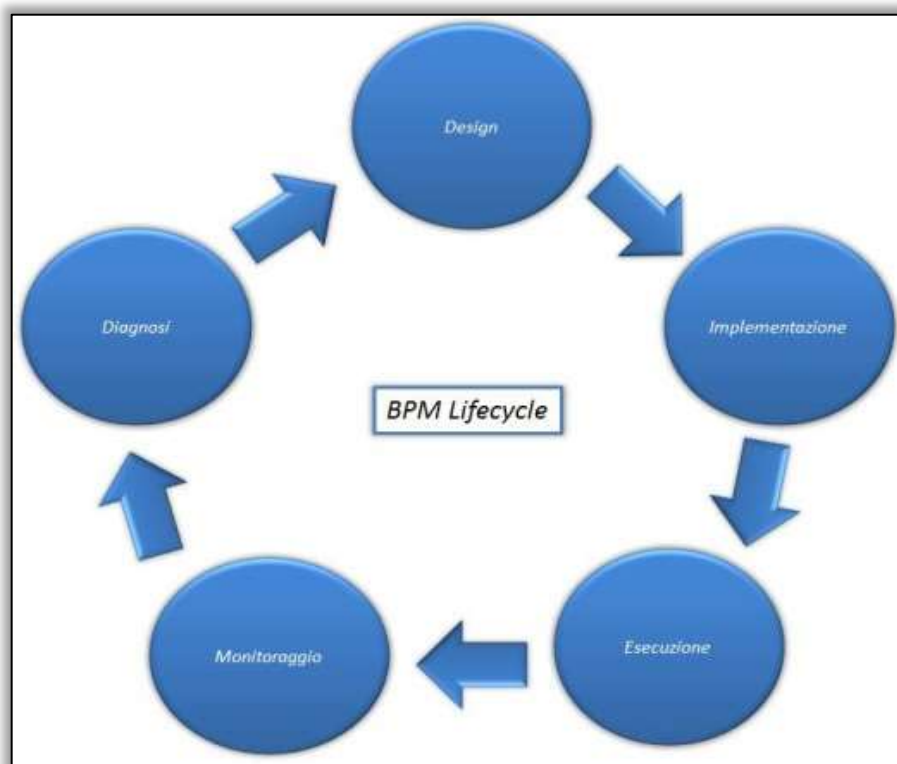


Figura 1. BPM Lifecycle

In Figura 1 sono mostrati gli stadi che costituiscono il BPM Lifecycle. Come primo stadio possiamo considerare quello del Design. Durante questa fase sono identificate le caratteristiche del processo, e viene scelto il linguaggio più adatto alla sua rappresentazione al fine di riuscire a formalizzare il processo attraverso un modello, nella maggior parte dei casi statico, che verrà poi validato assieme agli operatori del sistema.

Il secondo step è rappresentato dall'implementazione del modello. A seconda di come il sistema è configurato, per realizzare l'implementazione del modello può essere necessario utilizzare dei software che permettano di supportare le attività e di raccogliere informazioni. Nel caso di utilizzo di tali software sarà necessaria sia un'attività di interfacciamento tra questi software ed il sistema informativo preesistente, che la configurazione di tali software per evitare l'insorgere di problemi di funzionamento.

Il terzo step è quello dell'esecuzione del processo, finalizzata al raggiungimento di determinati obiettivi, il più delle volte definiti assieme agli stakeholder. Il processo inizia con un determinato input, dipende dal tipo di sistema che viene analizzato, ed in base ad esso evolve e fornisce degli output. Per l'analisi del comportamento del processo è fondamentale la fase di monitoraggio che è immediatamente successiva a quella di esecuzione. Tale fase è fondamentale per permettere di apportare prontamente azioni correttive e/o fornire informazioni in merito allo stato del processo, soprattutto se questo è supportato da software che permettono di avere informazioni puntuali su di esso. Inoltre il monitoraggio, sia in modalità online (durante l'esecuzione del processo) che offline (al termine del processo) permette, se le caratteristiche del processo sono definite in maniera chiara, precisa ed accurata, di ricavare dati utili per la successiva fase di diagnosi, durante la quale vengono effettuate analisi dettagliate in merito ai tempi, alle risorse e ai costi del processo eseguito. La diagnosi può essere effettuata in vari modi quali ad esempio le tecniche di Process Mining [30][31][32], che si basa sull'analisi dei log di eventi registrati all'interno dei Sistemi Informativi, oppure gli strumenti di simulazione che, simulando i processi, permettono sia di estrapolare informazioni utili alla loro analisi che di individuare modalità per l'ottimizzazione dei flussi di lavoro.

L'importanza del BPM Lifecycle deriva da due aspetti concomitanti e contrapposti: da un lato si vuole analizzare il comportamento dei processi, dall'altro è noto che la maggior parte dei processi che sottendono all'erogazione di un bene o un servizio, sono molto complessi. Per riuscire a comprendere, analizzare e valutare i processi al meglio sia dal punto di vista strutturale che organizzativo è necessario quindi un approccio flessibile e ciclico, che permetta di gestire in maniera iterativa la

realizzazione di un modello intervenendo tempestivamente laddove ci fossero delle incongruenze tra questo e il processo reale.

La disciplina che si occupa dell'analisi e riorganizzazione dei processi al fine di ottenere un miglioramento radicale della loro esecuzione è nota come Business Process Re-engineering (BPR) [33], tale metodologia discende dal Business Process Management ed è una diretta conseguenza dell'attività di Diagnosi propria del BPM Lifecycle.

Ci sono moltissimi fattori che possono determinare la necessità di un intervento di BPR, come ad esempio un mutamento del quadro operativo/normativo, una ridefinizione degli obiettivi aziendali, uno scostamento dei parametri di controllo del processo che indichino la necessità o l'opportunità di migliorare l'efficacia e l'efficienza del processo. Lo scopo del BPR è il reingegnerizzare, i processi non per raggiungere un miglioramento marginale, ma una rivoluzione sostanziale dei processi, che parte dalla riprogettazione dei flussi di lavoro, fino ad arrivare alla ridefinizione dell'organizzazione dei processi.

2.3 LA MODELLAZIONE DEI PROCESSI TRAMITE WORKFLOW

Per una corretta gestione dei processi secondo le tecniche di analisi dei processi descritte, in precedenza, è necessario riuscire a monitorare i processi durante la loro esecuzione. Il modo più diffuso nelle aziende per il monitoraggio dei processi è l'utilizzo di parametri di controllo (KPI – Key Performance Indicators). La rilevazione di questi KPI, che possono essere riferiti sia a singole risorse che al sistema nel suo insieme, permette di avere informazioni sintetiche sull'andamento dei processi. I sistemi di Work flow Management sono delle soluzioni software, le più utilizzate nell'ambito del contesto dell'analisi dei processi, che permettono di analizzare i flussi di lavoro attraverso KPI.

Secondo la definizione fornita dalla Workflow Management Coalition (WfMC), un Work flow Management System è un "Sistema che definisce, crea e gestisce l'esecuzione di work flow attraverso l'uso di applicazioni software"; questi sistemi sono in grado di interpretare gli schemi di work flow, interagire con gli utenti e richiamare all'uso strumenti e applicazioni automatizzate [34]. Grazie all'utilizzo di questi sistemi è possibile gestire i flussi di lavoro in maniera automatizzata, definendo in maniera

chiara i compiti tra le varie risorse e riuscendo al contempo a ricavare informazioni sullo stato del processo attraverso i KPI [35][36][37].

3. I MODELLI

Grazie ad un'organizzazione aziendale per processi, all'impiego delle tecniche di Business Process Management e dei sistemi basati sui work flow vi è una semplificazione della struttura organizzativa che consente processi più efficienti ed efficaci; gli strumenti che possono essere annoverati tra quelli utilizzabili per l'implementazione di un WfMS comprendono tutti i modelli, i linguaggi e le metodologie che consentono di descrivere, progettare, simulare e far evolvere un'organizzazione aziendale, e tra questi ultimi si annoverano i sistemi di simulazione ad eventi discreti.

Il concetto di modello è stato introdotto più volte fino ad ora; con la parola modello si indica una rappresentazione, astratta e semplificata, di un sistema reale e delle sue interazioni. Un modello rappresenta un sistema sotto certi punti di vista ottenuti considerando alcune caratteristiche del progetto; si costruiscono modelli perché è più semplice ed economico che costruire direttamente un sistema. I modelli sono utili per la comunicazione, per pianificare la costruzione dei sistemi e per studiare la ristrutturazione di un sistema esistente. Si possono avere varie tipologie di modello:

- Modelli matematici, che sono costituiti da leggi analitiche che regolano il sistema;
- Modelli simulativi, che sono una ricostruzione, semplificata nella maggior parte delle volte, della realtà, con i quali è possibile analizzare il sistema in tutti (o molti) i suoi stati, attraverso l'utilizzo software specifici;
- Modelli ibridi, che sono una via di mezzo tra quelli analitici e quelli simulativi.

Inoltre i modelli si possono differenziare anche in base alla loro natura statica o dinamica; un modello statico è un modello che non evolve nel tempo, un modello dinamico viceversa, è un modello il cui stato, le cui caratteristiche cambiano nel tempo. Tra i modelli dinamici, cioè che evolvono nel tempo, possiamo identificare modelli deterministici e modelli stocastici. La distinzione in queste due categorie risiede nelle modalità di comportamento del modello:

- I modelli stocastici hanno un comportamento che evolve secondo delle variabili casuali, legate a distribuzioni aleatorie, che assumono valori all'interno di un

range di valori appartenenti a una distribuzione. Gli output di un modello stocastico variano nel tempo, al variare degli input;

- I modelli deterministici hanno un comportamento caratterizzato da costanti, il cui valore rimane fisso nel tempo e che determinano degli output fissi.

Un'ulteriore classificazione può essere fatta in base a:

- Modelli continui, in cui le variabili variano con continuità;
- Modelli discreti, in cui il valore delle variabili cambia in ben definiti istanti di tempo.

Ai fini della realizzazione dei modelli si possono avere due tipi di approccio, a seconda di cosa si vuole ottenere:

- Approccio top-down: scomposizione di un sistema per passi successivi in sottosistemi sempre più elementari ai fini dell'individuazione puntuale delle caratteristiche di modelli semplici che compongono un sistema più complesso;
- Approccio bottom-up: costruzione di un sistema complesso per composizione successiva di sistemi elementari al fine di individuare il modello di un sistema complesso, a partire da quelli semplici che lo compongono.

I modelli, oltre alla classificazione in base alla loro natura, possono essere classificati in base alla destinazione d'uso, cioè in base a quello che è l'utilizzo che del modello deve essere fatto:

a. Modello organizzativo

Il modello organizzativo serve a descrivere la struttura dell'azienda nel suo complesso ed il coordinamento delle attività lavorative in cui sono impegnate le sue risorse. All'interno dell'organizzazione si possono avere una o più unità organizzative (UO) che costituiscono la componente funzionale (oltre che strutturale) dell'azienda. Le UO sono composte da un insieme di ruoli e di posti lavoro (PL) che hanno compiti operativi. Un ruolo aziendale è rivestito da una persona, che è una risorsa, e ha delle responsabilità verso una U.O. Una U.O. svolge una funzione aziendale, ad essa sono assegnate delle risorse che possono svolgere dei compiti (unità di lavoro) richiesti delle attività per poter

raggiungere degli obiettivi: la funzione ha lo scopo di allocare le risorse alle attività. Il collegamento fra la struttura organizzativa e i processi dell'azienda è costituito dal concetto di compito, o task: il compito di una risorsa corrisponde ad una istanza di attività e tale corrispondenza avviene a mezzo delle funzioni. A permettere tutto questo deve esservi un sistema di gestione aziendale che, quando un'attività termina e le risorse associate ad essa vengono rilasciate, deve tener traccia di ciò permettendo la prosecuzione del processo.

b. Modello Funzionale

Un modello funzionale serve a descrivere e mettere in evidenza le funzioni proprie di un sistema e la loro articolazione all'interno di esso. Una funzione è l'insieme delle attività svolte da un'unità operativa per realizzare i propri obiettivi; una funzione può essere articolata in sotto funzioni o essere una funzione di coordinamento tra più funzioni. La collaborazione tra funzioni avviene attraverso lo scambio di oggetti, che possono essere sia messaggi, che dati. Una funzione gestisce una o più risorse ed utilizza oggetti come input, output o variabili di controllo. È possibile analizzare ogni singola funzione nel dettaglio arrivando ad analizzare le sue componenti elementari (input, output, controlli e risorse).

c. Modello di Processo

Il Modello di processo descrive l'insieme delle esecuzioni possibili, anche chiamate istanze di processo, relative a un determinato processo; esso è definito a partire da tre componenti fondamentali:

- Modello delle attività: questo tipo di modello descrive tutte le attività che costituiscono il processo;
- Modello delle decisioni: questo tipo di modello è utilizzato per descrivere il flusso di controllo fra le attività, cioè la sequenza delle attività, e le modalità di (sequenza, diramazione e riunione di flusso);
- Modelli degli eventi: tale modello descrive il verificarsi, in un certo istante, di fatti rilevanti per il processo, come possono essere l'evento

iniziale o finale del processo oppure l'apertura o chiusura di un'attività interna al processo.

I modelli utilizzati per le analisi sulle quali è stata focalizzato lo studio sono i modelli simulativi; poiché tali modelli, rispetto agli altri metodi di valutazione prestazionali, permettono di:

- Comprendere appieno un sistema ed il suo funzionamento;
- Diagnosticare i problemi;
- Esplorare e valutare nuove politiche di gestione;
- Testare il sistema.

I modelli simulativi possono essere visti come un qualcosa che a partire dal sistema reale oggetto di studio, portano alla formulazione di un modello utile per le analisi che si sceglie di eseguire. Appare chiaro quindi, che un modello di simulazione può essere uno qualsiasi dei modelli presentati in precedenza.

Mediante la tecnica della simulazione è possibile andare a ricavare tutta una serie di informazioni sul sistema studiato attraverso il modello. Per la realizzazione di un modello di simulazione sono necessarie una serie di attività che, il più delle volte, sono particolarmente complesse, ma preliminarmente alla realizzazione di un modello è necessario definire quattro elementi, che sono alla base di un progetto per la realizzazione di un modello di simulazione:

- Tipo di Modello: descrizione astratta degli elementi del sistema da realizzare prodotto durante il progetto e relativo all'azienda;
- Linguaggio utilizzato: strumento descrittivo utilizzato per la specifica dei modelli, dotato di una propria sintassi formale, ben definita e chiara, e una propria semantica, in modo da poter essere interpretato in maniera non ambigua durante il suo utilizzo;
- Tool utilizzato: strumenti automatizzati che coadiuvano l'attività di progettazione, validazione e verifica dei modelli;

- **Metodologia:** con questa parola s'intende l'approccio utilizzato per la soluzione dei problemi di progetto. Nella pratica con la parola metodologia si indica una sequenza di passi elementari, costituiti da suggerimenti, criteri e regole utilizzate per la costruzione dei modelli e per la loro verifica.

3.1 SIMULAZIONE

Con il termine simulazione s'intende la riproduzione del comportamento di un sistema. In generale, si parla di simulazione sia nel caso in cui è utilizzato un modello concreto, sia nel caso in cui è utilizzato un modello astratto nel quale la realtà è riprodotta attraverso l'uso del computer. Affinché possa essere valutato e analizzato il comportamento di un sistema reale, è necessario costruire un modello di simulazione, che permetta di descrivere le operazioni del sistema e come esse devono essere simulate. Benché possa essere utilizzata anche per lo studio di sistemi semplici, la vera forza di questa tecnica è raggiunta pienamente per l'analisi di sistemi complessi.

Gli aspetti rilevanti che fanno della simulazione uno strumento largamente utilizzato sono legati al fatto che essa permette di rappresentare sistemi reali anche complessi tenendo conto delle sorgenti d'incertezza, e di riprodurre il comportamento di un sistema in riferimento a situazioni non direttamente sperimentabili.

Attraverso la simulazione è quindi possibile studiare, misurare, migliorare e controllare il sistema esistente, attraverso la creazione di un modello, riuscendo ad ottenere i seguenti vantaggi:

- Flessibilità di progettazione, implementazione ed applicazione;
- Possibilità di introdurre i concetti di stocasticità e dinamicità nei modelli implementati;
- Fornire rappresentazioni accurate e dare visibilità ai processi;
- Supportare la complessità decisionale e operativa;
- Facilitare l'implementazione di nuove soluzioni operative;
- Migliorare la conoscenza del sistema reale e favorire la comprensione dei processi interni ad un'organizzazione;

- Valutare la reattività del sistema a vari eventi ed alle variazioni delle condizioni operative;
- Prevedere il comportamento dei sistemi in funzione dei cambiamenti, facendo valutazioni preventive sui costi di differenti soluzioni operative.

Ovviamente ci sono delle criticità quando si utilizzano questi sistemi:

- La simulazione permette di valutare il comportamento di un sistema attraverso un'approssimazione dei comportamenti e delle caratteristiche dello stesso, detto questo è chiaro che i risultati ottenuti con una simulazione sono tanto più precisi quanto più accurato è il modello creato. L'accuratezza delle "risposte" ottenute dal modello di simulazione dipende dall'accuratezza con la quale il modello è stato creato;
- L'analisi degli output di una simulazione può essere molto complessa ed anche fuorviante se il modello non è realizzato in maniera opportuna;
- La fase di realizzazione di un modello può diventare laboriosa e complessa se non sono definiti in maniera chiara i limiti entro cui utilizzare i modelli di simulazione ed i KPI di interesse.

3.2 TIPI DI SIMULAZIONE

Esistono differenti tipi di simulazione, e molteplici tool che ne permettono l'implementazione; essendo il settore di riferimento di questo studio quello sanitario è stato valutato il grado di diffusione delle tecniche di simulazione in tale settore. È emerso [38] che le tecniche di simulazione principalmente utilizzate in tale settore sono quella della Simulazione ad Eventi Discreti (DES) e quella della Dinamica dei Sistemi (SD).

- Dinamica dei Sistemi (System Dynamics): questo è un approccio deterministico, il tempo di simulazione è discretizzato attraverso l'utilizzo di equazioni differenziali anche se i cambiamenti di stato sono considerati continui. Questo approccio alla simulazione è largamente impiegato per analisi di tipo quantitativo effettuate con lo scopo di studiare i sistemi ad un livello strategico. Lo scopo di tale metodologia è quello di individuare e permettere l'analisi di

specifiche informazioni concernenti le relazioni tra le differenti parti di un sistema complesso. I modelli SD sono realizzati mediante una serie di cicli di retroazione, stock (o anche luoghi di stoccaggio), e flussi. Le “entità” sono considerate come una quantità continua, che fluisce nel sistema attraverso dei “serbatoi”, collegati da tubi. Questi flussi sono controllati da parametri di input e output definiti in ogni singolo serbatoio;

- Simulazione ad Eventi Discreti (Discrete Event Simulation): è un approccio stocastico, gli elementi impiegati per la costruzione di tali modelli sono code ed attività. La simulazione ad eventi discreti è utilizzata per analisi di operativo-tattico, nelle quali l’obiettivo è quello di studiare le specifiche funzionali di un sistema, con lo scopo di migliorarne le prestazioni. In sistemi di questo tipo le attività sono rappresentate come una sequenza discreta di eventi distribuiti nel tempo, intervallati da code; le entità sono distinte individualmente, ognuna con specifiche caratteristiche, che determinano il funzionamento del modello. Le durate delle attività sono campionate e distinte per ogni singola entità, a partire da distribuzioni di probabilità. Ogni evento accade in uno specifico istante di tempo e il comportamento del sistema è determinato da ogni singolo evento.

Presentate in Tabella 1 [38] le principali differenze tra questi due approcci:

Tabella 1. Confronto tra le caratteristiche di DES ed SD

	DES	SD
Portata dell’analisi	Operativa, tattica	Strategica
Importanza della Variabilità	Alto	Basso
Importanza della tracciabilità Individuale	Alto	Basso
Numero delle entità	Basso	Alto
Elementi di controllo	Code	Flussi
Portata temporale dell’analisi	Corto	Lungo
Obiettivo	Decisionale: ottimizzazione,	Policy making: acquisire conoscenza

	predire e comparare	
--	------------------------	--

La Simulazione ad Eventi Discreti permette di andare a operare nello specifico sul comportamento dei sistemi analizzati, consentendo modifiche operative/tattiche in sistemi che presentano una variabilità ed una complessità anche molto spinta. L'obiettivo di questo tipo di tecnica di simulazione è quello di favorire le attività decisionali dei gestori di un Sistema. I fattori che hanno determinato che l'attenzione di questo studio fosse accentrata sull'impiego della Simulazione ad Eventi Discreti nel settore sanitario sono stati:

- Attraverso l'utilizzo della Simulazione ad Eventi Discreti è possibile studiare sistemi complessi in maniera precisa [39][40];
- I modelli di simulazione ad eventi discreti sono utilizzabili anche per approssimare il comportamento di sistemi continui, semplificandone quindi l'analisi, approssimando con delle variazioni discrete opportunamente strutturate, le variazioni continue;
- Grazie alle sue caratteristiche la Simulazione ad Eventi Discreti ben si adatta alle teorie del Business Process Management, permettendo di andare ad analizzare il comportamento di sistemi valutandone le performance, in maniera puntuale, attraverso l'utilizzo di KPI opportunamente definiti, e di valutarne il comportamento in funzione di mutate condizioni operative.

3.2.1 SIMULAZIONE AD EVENTI DISCRETI

Nella simulazione ad eventi discreti le evoluzioni del sistema nel tempo sono rappresentate con variabili che cambiano istantaneamente valore in definiti istanti di tempo, compresi in un ben definito intervallo numerico, e che determinano l'occorrenza degli eventi. Gli oggetti in un sistema di simulazione di questo tipo sono elementi distinti, ciascuno in possesso di caratteristiche proprie che ne determinano il comportamento all'interno del modello e che sono chiamati token. I modelli di simulazione ad eventi discreti sono caratterizzati da:

- variabili di stato che assumono valori discreti;

- transizioni da uno stato all'altro che accadono in istanti discreti (che possono o meno essere equi-spaziati).

Per eseguire la simulazione di un modello ad eventi discreti bisogna individuare le variabili di stato del sistema e le classi di eventi che danno luogo alle transizioni di stato; generalmente in un sistema di simulazione ad eventi discreti le variabili di stato, tra un evento ed il successivo, rimangono costanti. Consideriamo a titolo esemplificativo il più semplice modello di simulazione ad eventi discreti possibile: la "coda singola".

In tale modello abbiamo:

- Un ingresso;
- Una coda;
- Un'attività in uscita.

Gli assunti di base per questo sistema sono che:

- Sono noti i processi degli arrivi e delle partenze;
- I token del sistema appartengono tutti alla stessa classe;
- L'attività è sempre attiva se ci sono token in attesa di essere serviti;
- La gestione I/O dei token nell'attività è di tipo FIFO (First-In First-Out).

Lo stato del sistema "coda singola" nel generico istante di tempo t è descritto dalla variabile $n'(t) = n(t) + d(t)$ che rappresenta il numero complessivo di token nel sistema: tale numero è dato dalla somma del numero di token nella fila di attesa e di quelli nell'attività, ove presenti, all'istante t . Nello specifico dell'esempio fatto si possono avere solo due classi di eventi:

- arrivo di un cliente dall'esterno, classe e_1 ;
- fine servizio, classe e_2 .

La lista delle classi di eventi è:

$$\text{Lista delle classi di eventi} = \{ e_1, e_2 \}$$

La lista degli eventi attivi ad un generico istante t indica l'insieme delle classi di eventi per cui, all'istante t vi è un evento programmato:

$$\text{Lista degli eventi attivi all'istante } t = \{ e_1, e_2 \}$$

In questo caso la lista degli eventi che in ogni istante possono accadere viene a coincidere con la lista delle classi degli eventi del sistema; la lista degli eventi attivi all'istante t varia in maniera dinamica a seconda dell'istante considerato. È inoltre possibile considerare la lista dei tempi degli eventi attivi che racchiude gli intervalli di tempo tra gli istanti di accadimento degli eventi già programmati (presenti nella lista degli eventi attivi) e l'istante attuale:

$$\text{Lista dei tempi degli eventi attivi all'istante } t = \{ T_1(t), T_2(t) \}$$

L'evoluzione dello stato in un sistema di simulazione ad eventi discreti avviene in base a funzioni di transizione del tipo:

$$x(t) = f[x(t-h), e(t)]$$

In cui il valore all'istante t è funzione del valore della funzione all'istante precedente $t-h$, con h generico termine di sottrazione, e della classe dell'evento che avviene all'istante t ; una specifica transizione di stato è associata in maniera univoca ad una classe di evento. Nei modelli di simulazione ad eventi discreti esiste sempre un evento finale, chiamato evento di "fine simulazione".

Tutti gli eventi, compreso quello finale, di un sistema di simulazione ad eventi discreti si possono classificare in:

- Eventi esterni, indipendenti dal comportamento del sistema modellato, sono sempre presenti nella lista degli eventi attivi;
- Eventi interni, che sono funzione dello stato del sistema, possono o meno essere presenti nella lista degli eventi attivi (in caso di evento finale ovviamente esso è sempre presente).

I processi di arrivo e di partenza dei clienti in una attività sono completamente caratterizzati da distribuzioni di probabilità e quindi è fondamentale riuscire a valutare, in base ai dati a disposizione, le distribuzioni di probabilità relative ai tempi di inter-arrivo dei token nelle attività ed ai tempi di servizio delle attività.

Altro elemento distintivo dei modelli di simulazione ad eventi discreti è che l'utilizzo delle risorse ed i tempi delle attività sono specifici per ogni singolo elemento del sistema e sono campionate attraverso l'utilizzo di distribuzioni di probabilità. Le norme che disciplinano l'ordine con cui le attività accadono nel modello sono definite durante la fase di realizzazione del modello, e sono dipendenti sia da com'è strutturato il work flow che dalle caratteristiche delle singole entità. Gli elementi fondamentali di un sistema di simulazione ad eventi discreti sono quindi:

- Variabili di Stato: sono variabili che descrivono lo stato di un sistema in ogni istante di tempo. In un modello di simulazione ad eventi discreti le variabili di stato assumono valori discreti e le transizioni da uno stato all'altro hanno luogo in istanti discreti;
- Eventi: si definisce evento, un qualsiasi accadimento istantaneo che fa cambiare il valore di almeno una delle variabili di stato;
- Attività: sono le azioni temporali tra due eventi, la cui durata è nota a priori all'inizio dell'esecuzione dell'attività stessa. Questa durata può essere:
 - un valore costante;
 - un valore variabile in maniera casuale in base ad una distribuzione di probabilità;
 - un valore dato in input al modello;
 - un valore calcolato in base ad altri eventi che accadono nel sistema.
- Entità e Relazioni logiche: le entità sono gli elementi tangibili presenti nel mondo reale, mentre le relazioni logiche collegano insieme i diversi oggetti, definendo il comportamento generale del modello; le entità possono essere dinamiche, se fluiscono all'interno del sistema, oppure entità statica. Le entità inoltre possono essere caratterizzate da attributi che forniscono un valore di un dato assegnato all'entità stessa;
- Risorse: sono elementi del sistema che forniscono un servizio alle entità;

- Tempo di simulazione: attraverso un sistema di riferimento, molto spesso rappresentato da un orologio, viene tenuta traccia delle relazioni logiche tra le entità nel range temporale che si intende simulare.

Esistono due modi per definire l'avanzamento del tempo di simulazione:

- Avanzamento del tempo al prossimo evento, il tempo scorre in funzione degli eventi, si passa dal momento precedente a quello successivo solo in funzione degli eventi associati a tali momenti.
- Avanzamento del tempo ad incrementi prefissati, il tempo scorre a prescindere dagli eventi, si passa da un istante precedente a quello successivo a prescindere dagli eventi associati a tali istanti.

3.3 I SISTEMI DI SIMULAZIONE

Per utilizzare le tecniche di simulazione, come quella ad eventi discreti appena descritta, si necessita dell'uso di software specifici chiamati simulatori; i simulatori sono package orientati alle applicazioni che permettono la simulazione. Esistono diversi software di questo tipo, alcuni permettono di utilizzare varie tecniche di simulazione, altri sono specifici permettendo di utilizzarne solo una. Tali software permettono di costruire un programma con l'ausilio di tool grafici riducendo al minimo le attività di programmazione ma prevedono sempre la possibilità di incorporare del codice, con linguaggi di tipo general purpose o proprietari, per il trattamento di situazioni non standard. La maggior parte dei software di simulazione ha interfacce grafiche che permettono le animazioni al fine di mostrare la simulazione in azione. Le caratteristiche principali di un software di simulazione sono:

a. Modellazione

Il sistema di simulazione deve consentire l'implementazione di sistemi di diversa natura con un buon grado di accuratezza e senza perdita d'informazioni importanti, cioè senza che siano fatte eccessive semplificazioni sul comportamento e sulle caratteristiche dei sistemi modellati tali da inficiarne l'analisi.

b. Animazione

L'utilizzo delle animazioni è uno dei punti di forza dei software di simulazione. In un'animazione gli elementi chiave di un sistema, le loro interazioni ed il funzionamento generale del modello vengono rappresentati a video mediante l'utilizzo di icone la cui forma e posizione varia al variare dello stato del sistema.

c. Capacità di analisi dei dati

I tool di simulazione permettono di fare analisi statistiche sui dati in output, di fare correlazioni tra i dati di input ed output e di valutare le specifiche di funzionamento di un modello in maniera analitica. I dati di output e di input ed i valori caratteristici del funzionamento del sistema sono memorizzati nel sistema di simulazione in modo da tenerne traccia.

d. Esecuzione

Uno strumento di simulazione permette di eseguire la simulazione di un modello, molteplici volte.

È doverosa una precisazione sull'utilizzo dei differenti tipi di linguaggi di programmazione utilizzati dai tool di simulazione. I linguaggi di programmazione più diffusi tra i software di simulazione sono linguaggi proprietari non di tipo general purpose poiché, nonostante i linguaggi di programmazione non siano diffusi e conosciuti, come i linguaggi di tipo general purpose, presentano una serie di vantaggi:

- I linguaggi di simulazione forniscono in maniera automatica essendo specifici del software, tutte le caratteristiche necessarie al funzionamento dello stesso;
- I costrutti realizzati con i linguaggi di simulazione sono più aderenti alla simulazione rispetto a quelli dei linguaggi general-purpose;
- I sistemi di simulazione quando utilizzano linguaggi di simulazione, generano modelli più facilmente modificabili;
- I linguaggi general-purpose hanno una flessibilità maggiore rispetto a certi linguaggi di simulazione.

Tali vantaggi fanno sì che i tool di simulazione più diffusi utilizzino dei linguaggi di programmazione proprietari.

3.4 TOOL DI SIMULAZIONE SIMUL8

Ci sono molteplici strumenti utilizzabili per l'implementazione della simulazione ad eventi discreti [41]; tra i quali Simul8. Tale simulatore ha, tra le sue caratteristiche, la flessibilità di modellazione, la possibilità di visualizzare l'animazione del modello di simulazione, molte capacità statistiche di elaborazione dati in ingresso ed in uscita al modello, il controllo delle esecuzioni del modello, la generazione di tracce relative alle esecuzioni e la possibilità di presentazione degli output. Tale software permette di studiare differenti tipi di sistemi:

- Sistemi di produzione tipici delle aziende manifatturiere;
- Sistemi Logistici;
- Work flow Amministrativi;
- Sistemi di erogazione di servizi di consulenza.

Con questo tool è possibile creare un modello che tiene conto dei vincoli dei sistemi reali, delle capacità, dei tassi di fallimento, dei turni del personale e di altri fattori che influenzano le prestazioni e l'efficienza di un sistema reale. Attraverso lo studio di tale modello è possibile:

- Andare a testare scenari alternativi di funzionamento individuando la soluzione che permette un'ottimizzazione delle prestazioni;
- Modificare i parametri che influenzano le prestazioni;
- Effettuare prove di carico estremo;
- Eseguire analisi economiche dei processi analizzati.

Le uscite della simulazione sono "dati concreti", cioè i valori e le statistiche dei parametri prestazionali e metriche del sistema produttivo; tipiche informazioni che possono essere ricavate con output del processo sono:

- Utilizzazione delle risorse;
- Individuazione delle strozzature;
- Prestazioni del sistema di produzione;

- Livelli di inventario.

Tale strumento permette la costruzione di modelli di simulazione sia attraverso l'utilizzo di un linguaggio di programmazione proprietario chiamato Visual Logic, sia attraverso un'interfaccia grafica che permette di disegnare schemi organizzativi ed implementarli.

Questo tool permette il collegamento con altri applicativi per quanto riguarda sia la gestione dei dati, in input ed in output (Excel, Access e database SQL), sia per l'importazione di strutture di modelli di simulazione secondo differenti formati (XML, BPMN [42], file Visio).

Gli elementi fondamentali utilizzati da questo tool per la realizzazione di un modello sono:

- Start point: è il punto di partenza dal quale gli elementi di lavoro arrivano nel sistema. Le modalità di arrivo possono essere definite a priori (con un comportamento deterministico) oppure variare in base a dei valori definiti mediante una distribuzione di probabilità (con un comportamento stocastico). Un modello può essere dotato anche di più start point;
- Queue: è l'elemento (coda) nel quale le entità della simulazione sostano nell'attesa dell'elaborazione. È possibile analizzare varie caratteristiche di questi elementi durante una simulazione qui che gli elementi di lavoro sostano in attesa di essere elaborati;
- Activity: è l'elemento (attività) nel quale il lavoro è eseguito. La durata delle attività è determinata da valori definiti attraverso una distribuzione di probabilità;
- End point: è l'elemento finale della simulazione (punto di fine). Una simulazione può essere dotata di più end point, a seconda di com'è strutturato il modello delle attività;
- Work item: è l'elemento, spesso chiamato token, che viene creato nello start point e viene successivamente elaborato, durante il proprio tragitto nel modello, dalle attività che compongono il modello di simulazione;

- Resources: sono le risorse necessarie a svolgere delle attività;
- Route: sono gli elementi di collegamento (connettori) tra gli oggetti di simulazione.

3.5 COSTRUZIONE DI UN MODELLO DI SIMULAZIONE

Le principali difficoltà nell'utilizzo della simulazione sono legate alla fase di progettazione del modello ed alla fase di analisi degli esperimenti di simulazione in quanto, un errore in una di queste due fasi, può determinare un'incertezza troppo grande dei risultati ed un fallimento della simulazione stessa.

L'incertezza dei risultati è una componente sempre presente quando si parla di simulazione, ci sono tuttavia delle tecniche per cercare di ridurla, o almeno tenerla sotto controllo:

1. La prima soluzione è quella di costruire un modello completamente aderente alla realtà: questa soluzione comporta costi troppo alti sia in termini di risorse utilizzate per la realizzazione del modello, che in tempo necessario per l'analisi dei dati;
2. La seconda soluzione è quella di costruire invece un modello molto semplificato del sistema reale: questa soluzione riduce i tempi e le risorse necessarie ma non garantisce una valida rappresentazione del sistema reale e quindi non permette di fare analisi valide.
3. La terza soluzione è quella di costruire un modello che sia una buona approssimazione del sistema reale, senza essere un'esatta rappresentazione di questo, ma che tenga in conto i processi principali che caratterizzano il funzionamento del sistema e che permetta di ottenere tutti i dati utili ai fini delle analisi che sul sistema si vogliono fare.

Per costruire un modello che rispecchi le caratteristiche enunciate nella terza soluzione vi è la necessità di seguire delle "linee guida" che siano chiare, condivise e ripetibili. Come descritto da Law&Kelton [43] un tipico processo di simulazione può essere costruito procedendo in maniera iterativa – Figura 2:

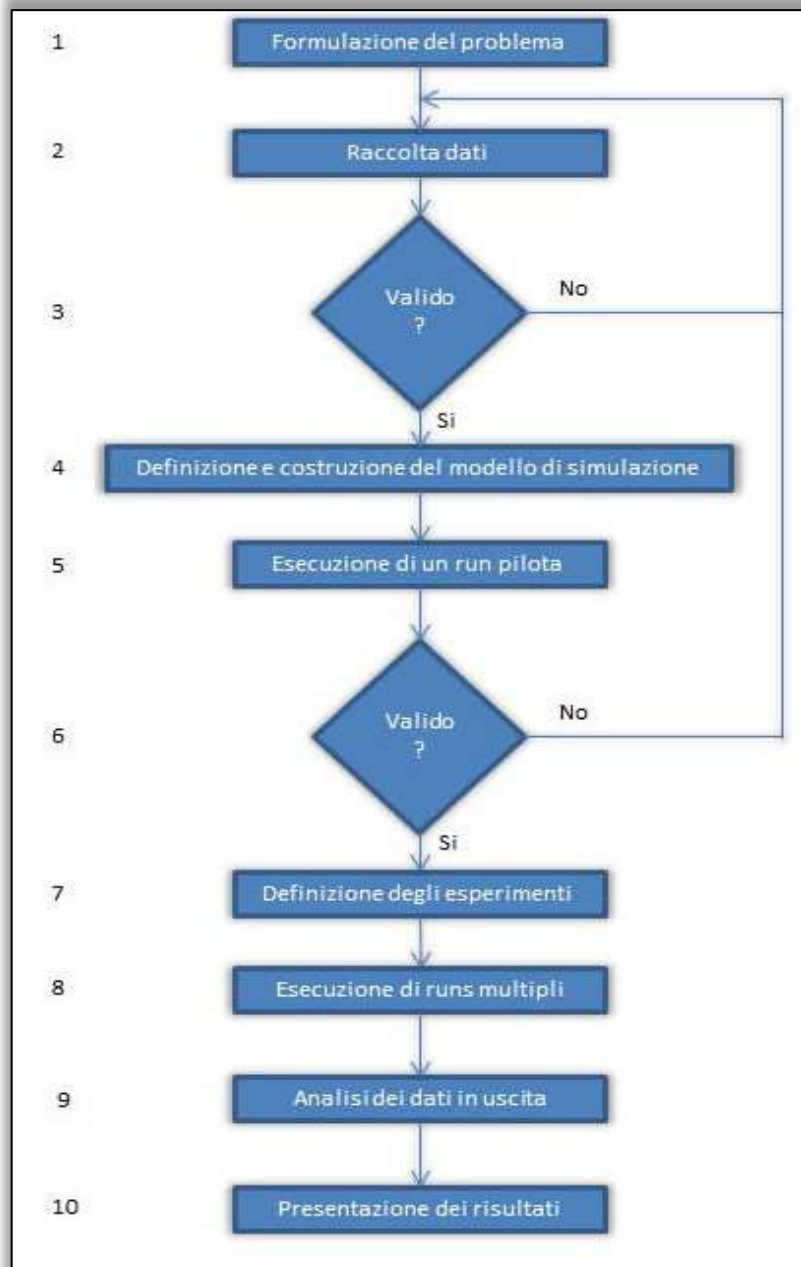


Figura 2. Procedimento per la costruzione di un modello di simulazione

Il primo step del processo iterativo è quello della formulazione del problema: durante questa fase si devono fissare gli obiettivi dello studio, le risorse disponibili, definire l'hardware necessario a portare avanti lo studio e fare un'analisi preliminare dei problemi. Importantissima in questa fase è l'individuazione degli indici prestazionali in base ai quali verrà valutato il sistema da analizzare.

Il secondo passo di questo processo è rappresentato dalla raccolta dei dati, sempre in questa fase sono previste tutte le attività necessarie all'elaborazione dei dati al fine di renderli adatti all'utilizzo all'interno del modello. I dati possono provenire da differenti fonti, sia da database aziendali che da misurazioni dirette sul campo. La raccolta dei dati è molto spesso anch'esso un processo iterativo, che si svolge per tutta la durata dello sviluppo del modello. Per procedere all'implementazione di un modello di simulazione è utile:

- Definire chiaramente le linee guida per la creazione del modello;
- Usare la fase di creazione del modello allo scopo di guidare la raccolta dei dati;
- Partire da un modello di massima del sistema e raffinarlo per approssimazioni successive in funzione degli scopi dell'analisi.

Annoverabile tra i dati necessari alla creazione di un modello di simulazione vi è sicuramente il diagramma dell'organizzazione; tale strumento è molto utile nella fase di creazione e definizione del modello. Si possono avere fondamentalmente due tipi di metodologie per la realizzazione di un modello di processo:

- Ricostruzione forward: in tale metodologia si parte da uno o più eventi di ingresso e poi si concatenano tra loro le attività interne a partire da questo fino ad arrivare a quelle in uscita;
- Ricostruzione backward: in tale metodologia si parte dalla, o dalle attività d'uscita risalendo poi a quella o quelle di ingresso.

Solitamente si utilizza una metodologia ibrida tra queste due in modo da:

- Evitare di perdere di vista il punto di arrivo del modello;
- Rendere il flusso omogeneo lungo tutto il suo percorso;
- Rendersi conto in tempo di eventuali incongruità nel flusso.

I diagrammi delle organizzazioni e le mappe dei processi sono modi di rappresentare le interazioni tra le entità particolarmente utili quando si ha a che fare con sistemi tra le cui caratteristiche ci sono le code ed anche se ci sono casi in cui queste rappresentazioni non sono in grado di riprodurre appieno la complessità del sistema

che deve essere simulato, forniscono un scheletro che può essere utilizzato come punto di partenza dell'analisi ed essere sviluppato in seguito.

Nella fase di raccolta dei dati bisogna documentare le assunzioni fatte, rivedere i dati ottenuti da un reparto assieme a quelli degli altri reparti coinvolti nel processo; i dati da raccogliere variano in funzione delle misurazioni e delle analisi che dovranno essere fatte col modello di simulazione.

Successiva alla raccolta dati vi è la fase di convalida di questi che viene ad essere il terzo step. In questa fase deve essere verificata l'assoluta veridicità degli stessi e la loro aderenza degli stessi al processo.

Il quarto step consiste nella costruzione del modello informatico, il quale è basato su un modello concettuale. Per una corretta costruzione del modello è necessario:

- Definire le variabili di stato;
- Identificare i valori che possono essere assunti dalle variabili di stato;
- Identificare i possibili eventi che fanno cambiare lo stato del sistema;
- Realizzazione di una misura del tempo simulato;
- Realizzazione di un metodo per generare gli eventi.

Per realizzare una corretta implementazione del modello di simulazione non si può prescindere da una minuziosa analisi del sistema reale; tale analisi può essere suddivisa in:

- Analisi strutturale, che permette di analizzare in maniera statica l'azienda; attraverso le informazioni contenute nell'organigramma è possibile risalire ai ruoli;
- Analisi delle attività, che serve a mettere in evidenza le attività che compongono il processo analizzato; le caratteristiche ed il numero di attività analizzate, variano in base al tipo di analisi che si vuole andare ad eseguire. Per eseguire tale analisi si può operare in due modi:
 - Disaggregazione top-down: con questa tecnica si decompone il processo nelle sue attività per iterazioni successive;

- Ricomposizione bottom-up: il processo viene ricostruito partendo dall'aggregazione di attività omogenee per output e funzione.

Una volta realizzato e validato il modello, vi è la prima esecuzione dello stesso; in questo step, il quinto, viene eseguita un'esecuzione pilota per la verifica del comportamento dinamico del modello di simulazione realizzato.

I passi dal settimo al nono sono quelli relativi alla progettazione e all'implementazione delle sperimentazioni; in queste fasi, partendo dalla situazione reale, cioè dal modello che rappresenta il sistema nel suo stato attuale, così com'è – “As-Is” - si passa all'analisi delle soluzioni operative sperimentali – “What-If” – valutandone, grazie all'utilizzo del simulatore, sia le variazioni del comportamento del sistema che le variazioni delle performance che tali soluzioni determinano. Mediante l'analisi del “What-If” è possibile:

- Determinarne la risposta al cambiamento del sistema;
- Ricercare la performance attesa del sistema;
- Ricercare il valore ottimale di una variabile del sistema;
- Determinare la sensibilità del sistema ai cambiamenti;
- Comparare configurazioni alternative del sistema.

Durante lo studio di un sistema l'attenzione di solito è focalizzata su alcuni aspetti specifici quali:

- Le caratteristiche degli input;
- Le caratteristiche delle transazioni che maggiormente ne condizionano il flusso attraverso il processo;
- I colli di bottiglia;
- L'utilizzazione delle risorse e i conflitti per il loro impiego.

L'ultimo punto, il decimo step, è definito a partire da quelli precedenti in quanto in tale passaggio vengono diffuse informazioni sia sul comportamento del sistema reale che sui cambiamenti da fare al fine di migliorarne la performance; i risultati delle

simulazioni sono presentati agli utenti e possono essere utilizzati per giustificare il costo ed i benefici dei miglioramenti.

3.6 VERIFICA E VALIDAZIONE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE

Il modello di simulazione è uno strumento per le analisi, ma prima di procedere con queste è necessario dimostrare la validità di tale strumento e verificarne i comportamenti ed i risultati. Un modello di un sistema complesso può, per le ragioni viste precedentemente essere solo un'approssimazione del sistema reale utile ad eseguire determinate analisi e i cui limiti devono essere ben noti già nel momento della sua implementazione; un modello assoluto non è utile né in termini di specifiche analisi in quanto risulterebbe difficile identificare i dati di interesse, né in termini di implementazione in quanto risulterebbe estremamente dispendioso in termini di risorse, economiche e di tempo.

Lo studio dei processi reali mediante simulazione è difficoltoso in quanto un errore di definizione del modello può comportare notevoli rischi dal punto di vista dell'affidabilità dei risultati ed inoltre le prestazioni del processo analizzato mediante il modello potrebbero essere fortemente disallineate da quelle del sistema reale, rendendo inutile di fatto l'analisi stessa.

Lo scopo della simulazione è quello di ottenere un modello che abbia un comportamento quanto più simile possibile a quello del sistema reale in modo da permetterne uno studio sia della situazione attuale che delle alternative procedurali, in quanto se si riesce ad ottenere un modello che si comporta come il processo vero è presumibile che gli effetti che si ottengono in simulazione, cambiando determinati parametri di processo, si ottengano anche nel mondo reale cambiando effettivamente gli stessi parametri di processo.

Per riuscire ad ottenere ciò è fondamentale riuscire a Validare e Verificare il modello. L'obiettivo di queste fasi è duplice:

- Produrre un modello che rappresenti il comportamento del sistema abbastanza fedelmente in modo che possa essere usato come sostituto del sistema attuale allo scopo di fare degli esperimenti con il sistema stesso. Il modello così creato

viene ad essere una rappresentazione del sistema reale “così com'è” e viene chiamato modello “As-Is”;

- Accrescere la credibilità del modello in modo che possa essere usato dagli stakeholder ai fini della valutazione di differenti scelte operativo/organizzative. Il modello creato con questo scopo, che permette lo studio delle soluzioni alternative, è utilizzato per dare informazioni su “cosa succederebbe se” e può essere chiamato modello “What-If”.

3.6.1 VERIFICA

Il processo di verifica serve a valutare la correttezza funzionale del modello, attraverso il controllo del suo comportamento, della sua struttura logica e dei suoi parametri di ingresso. Per effettuare tale verifica vengono fatte delle prove di verifica della completezza del modello rispetto allo scopo per il quale è stato progettato, cioè che ci siano tutti gli elementi necessari al suo corretto funzionamento. Inoltre viene analizzato il comportamento del sistema mediante prove con valori deterministici all'ingresso; questa modalità permette di avere risultati che sono facilmente verificabili. I due criteri alla base delle attività di verifica sono:

- Consistenza: nel modello non devono esserci contraddizioni logiche, matematiche o concettuali;
- Validità algoritmica: l'algoritmo utilizzato per la simulazione deve essere valido, cioè appropriato, portando a soluzioni appropriate.

Questi due criteri si applicano in fasi differenti del processo di realizzazione di un modello di simulazione; la consistenza può essere valutata nella fase di design e ideazione del modello, la validità del modello invece è da valutarsi nelle fasi finali di realizzazione del modello.

Per realizzare in maniera appropriata un processo di verifica di un modello di simulazione è necessario poter effettuare esecuzioni multiple della simulazione variando gli input e valutandone i risultati. Questo è fondamentale per riuscire a capire il funzionamento del modello, la cui “ragionevolezza” di funzionamento può essere valutata attraverso:

- **Test di Consistenza:** si esegue la simulazione con un numero limitato di ingressi, dapprima STEP by STEP e poi con una velocità di simulazione lenta . Dopodiché si esegue la simulazione con una complessità incrementale dei dati, per individuare errori nel funzionamento. Questo test è utile per verificare che i percorsi seguiti dai work item siano coerenti con quanto progettato, che le attività siano eseguite nei tempi giusti, che siano rispettati i turni degli operatori, che il numero dei work item all'uscita delle attività sia coerente con le percentuali inserite, che sia rispettata la coerenza tra gli ingressi e le uscite globali del modello;
- **Test Comparativi con Modelli risolvibili analiticamente;**
- **Simulazioni Casuali (Randomized Simulations):** si eseguono molteplici run del modello di simulazione per verificare che gli output dipendano effettivamente del tipo di input utilizzati e non siano dovuti a malfunzionamenti del modello di simulazione. Per modelli deterministici si manda in simulazione lo stesso modello senza aver cambiato alcun parametro e si verifica che i risultati sono sempre gli stessi e che quindi gli output varino in funzione degli input. Per modelli stocastici si fa lo stesso ma, data la natura aleatoria del modello, non ci si aspetta che i risultati siano esattamente gli stessi, bensì che abbiano un trend simile a quello dei risultati del sistema reale con una varianza contenuta entro un certo limite, che deve essere chiaramente esplicitato prima di eseguire i run del modello di simulazione;
- **Visualizzazioni grafiche:** si verifica che ciò che è visualizzato con il modello di simulazione è effettivamente una riproduzione del sistema reale;
- **Test Degenerativi e configurazioni estremali del Simulatore e/o dei suoi parametri:** è utile valutare il comportamento del sistema per configurazioni estremali del Simulatore e/o dei parametri;
- **Test di Continuità:** si eseguono numerosi run con valori leggermente differenti dei parametri di input. Ogni variazione significativa dei valori di output deve essere oggetto di indagine;

- Operazioni di tracciamento: si utilizzano delle stampe dettagliate che forniscono informazioni su tutto ciò che accade nel modello, cioè dei log del modello di simulazione, per analizzare il comportamento di quest'ultimo.

3.6.1.1 APPLICAZIONE DELLE TECNICHE DI VERIFICA DI UN MODELLO DI SIMULAZIONE

L'attività di verifica di un modello di simulazione consiste nella verifica che la rappresentazione computerizzata, cioè il modello di simulazione, rifletta in maniera accurata le caratteristiche e le specifiche del modello concettuale del sistema reale. Il modello concettuale rappresenta un'astrazione del sistema reale, realizzata per permettere un'analisi semplificata solo di quelle caratteristiche che interessano per le analisi che si vogliono portare avanti.

Una procedura di verifica per un modello di simulazione può essere la seguente [44]:

- Design di diagrammi di flusso per ogni azione logicamente possibile al verificarsi di ogni tipo di evento (considerare tutte le possibili alternative);
- Esaminare il modello con personale esperto, per verificare la correttezza dei flussi di lavoro rappresentati;
- Esaminare accuratamente gli output del modello per verificare, sia la ragionevolezza di comportamento che la veridicità del modello.

3.6.2 VALIDAZIONE

“Il modello di simulazione rappresenta adeguatamente il comportamento del sistema reale?”

È questa la domanda che sottende il processo di validazione, che non è altro che la verifica dell'accuratezza di tale modello. Per validare un modello di simulazione bisogna confrontare i risultati ottenuti da un modello di simulazione con quelli ricavati dal sistema reale; si controlla che i due set di dati non siano troppo disallineati, poiché in questo caso il modello creato risulta non valido e si deve intervenire per correggerlo.

Le cause di disallineamento possono essere molteplici, ma tutte possono essere ricondotte ad errori fatti durante le fasi di design e realizzazione del modello: ci sono errori semplici, dovuti a una errata definizione dei parametri, e ci sono altri errori, più

importanti, che possono riguardare la definizione di tempistiche, delle distribuzioni, l'attribuzione delle risorse o una errata strutturazione del modello.

La validazione viene eseguita con l'ausilio di un team formato da professionisti, scelti in base alla propria esperienza; questo team individuerà le similitudini, o discrepanze, tra il modello di simulazione ed il sistema reale attraverso l'analisi ed il confronto dei risultati ottenuti dai due sistemi. La difficoltà principale in questa fase risiede nella corretta misurazione delle prestazioni del sistema., per questo è necessario definire in maniera chiara il periodo di analisi, gli input e gli output considerati e le prestazioni che si vogliono andare a misurare. Tutte le fasi ed i risultati del processo di validazione devono necessariamente essere documentati in maniera chiara e precisa. Per effettuare la validazione esistono sia test soggettivi che test oggettivi:

- I test soggettivi sono delle verifiche del comportamento del modello da parte di personale esperto.
- I test oggettivi sono verifiche del comportamento del modello, fatte analizzando trend di dati storici, confrontando gli andamenti dei risultati del sistema sia per i dati storici che per quelli utilizzati per l'analisi.

Durante questo studio, ispirandosi alla letteratura [45] è stato proposto un primo approccio alle procedure di validazione. Tale approccio, è strutturato in due fasi: una prima validazione, chiamata formale, alla quale segue una validazione strutturale del modello di simulazione:

- La validazione formale consiste anch'essa di due fasi, una prima fase di valutazione della correttezza delle soluzioni architettoniche adottate per la costruzione del modello di simulazione, cioè nella valutazione di "come il modello è disegnato", la seconda fase consiste nella verifica della correttezza formale del codice utilizzato per la costruzione del modello, cioè in questa fase si procede ad un "software debug".
- La validazione strutturale consiste in un confronto tra i comportamenti del modello di simulazione creato e del Sistema reale attraverso l'utilizzo di due tipi di controlli:

- Validazione “Open-Box”: il modello viene mostrato agli stakeholder che ne valutano il funzionamento;
- Validazione “Black-Box”: gli output ottenuti dal modello “As-Is” sono comparati con i dati ottenuti dal sistema reale al fine di verificare la compliance tra il comportamento del modello simulato e quello del sistema reale.

In Figura 3 è presentato lo schema del processo di validazione proposto:

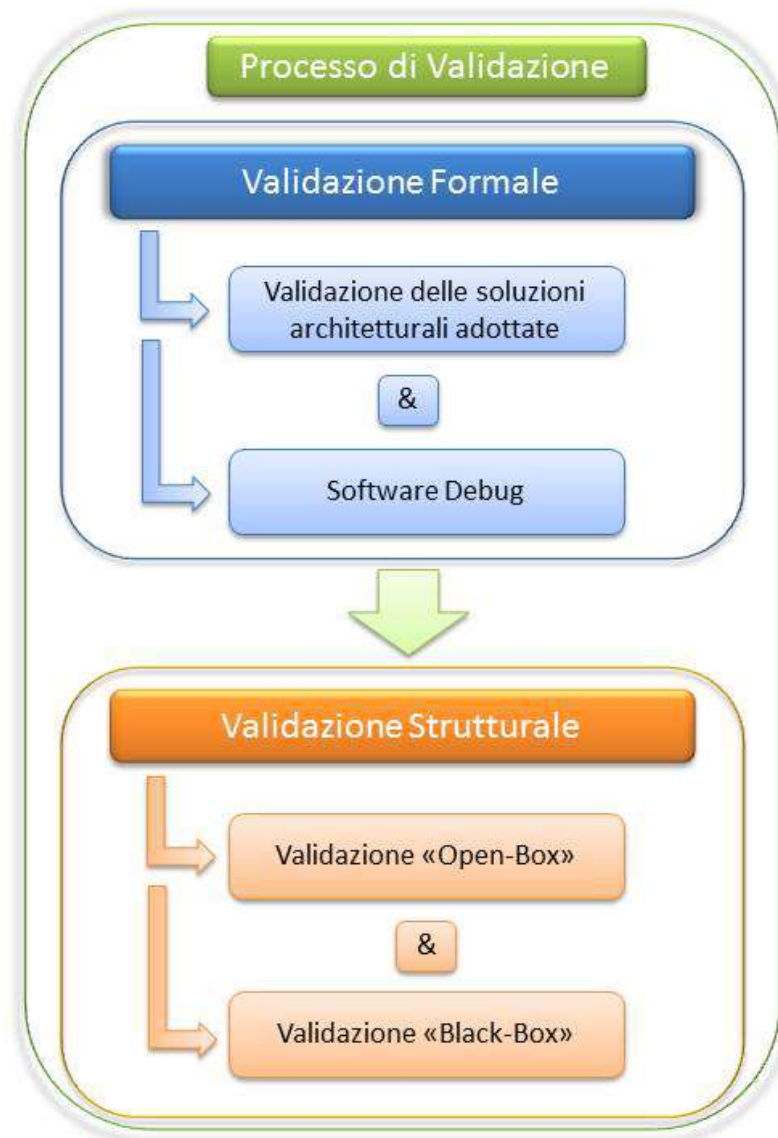


Figura 3. Schema del processo di validazione

Questa procedura per la validazione dei modelli di simulazione si è dimostrata valida, così come verrà mostrato nel seguito di questo elaborato attraverso l'analisi dei vari casi studio; tuttavia si è sempre continuata la ricerca di ulteriori modalità di validazione dei sistemi di simulazione. Un processo di validazione deve permettere la valutazione di:

- validità empirica di un sistema, che riguarda la corrispondenza tra il modello ed il sistema reale valutata attraverso l'analisi dei dati;
- validità teorica del modello, che riguarda la consistenza del modello rispetto a elementi, modelli e teorie già diffusi ed accettati in letteratura;
- validità pragmatica del modello, che riguarda la verifica delle capacità analitiche del modello di simulazione;
- validità euristica del modello, che riguarda la verifica delle capacità predittive del modello di simulazione.

La validazione, e quindi anche la procedura proposta precedentemente, è un processo iterativo, avvengono successivamente confronti tra modello e sistema con conseguenti revisioni del modello condotte fino a quando questo non viene giudicato sufficientemente accurato, cioè presenta un determinato grado di significatività.

La validazione non porta a risultati assoluti in quanto, come detto anche precedentemente, nessun modello è pienamente rappresentativo del sistema in analisi. Inoltre ogni revisione del modello implica costi in termini di tempo e lavoro, e quindi bisogna arrivare ad un compromesso tra i vantaggi che derivano da un livello più elevato di accuratezza del modello e gli svantaggi che potrebbero essere causati dall'incremento del costo del lavoro di validazione. La validazione del modello termina quando si è raggiunto il livello di significatività fissato, oppure quando lo sforzo per migliorare il livello di significatività ottenuto è da considerarsi superiore ai miglioramenti ottenuti ed ottenibili.

Le caratteristiche che ogni processo di validazione deve garantire sono quella di riuscire ad individuare la corrispondenza strutturale del modello di simulazione rispetto al modello concettuale del sistema reale scelto, permettere di validare le

assunzioni fatte nel modello di simulazione e permettere di valutare in maniera chiara le trasformazioni ingresso-uscita del modello rispetto a quelle del sistema reale.

I primi due punti sono facilmente verificabili con il processo di validazione proposto precedentemente. Il terzo punto risulta invece di più difficile realizzazione se non si definisce il “come” questo controllo debba essere fatto. Per la verifica delle trasformazioni ingresso-uscita del modello di simulazione si è scelto di utilizzare dei test statistici.

Le variabili di ingresso vengono divise in due gruppi:

- variabili incontrollabili X;
- variabili controllabili o decisionali D.

inoltre ci sono le variabili di uscita:

- variabili di uscita Y

Il nostro sistema, il generico sistema analizzato cioè il modello di simulazione, può essere visto come una funzione di trasformazione del tipo:

$$f(X,D) = Y$$

Dove f è la trasformazione che vogliamo analizzare caratteristica del modello.

C'è un'ulteriore variabile, che chiameremo Z, e che rappresenta le uscite del sistema reale.

Una volta definite le variabili controllabili D ed incontrollabili X, ed eseguiti dei run del modello di simulazione, andiamo a valutare il valore delle variabili di uscita Y per il modello. Queste variabili Y potranno essere confrontate con le variabili Z che rappresentano le uscite del sistema reale.

Ovviamente per permettere un confronto che possa fornirci dei risultati attendibili le misurazioni sia della variabile Y che della variabile Z devono essere fatte in condizioni standard cioè:

- in ingresso al modello di simulazione sono stati forniti input coerenti con quelli del sistema reale per il periodo di interesse.

Fatto questo è possibile analizzare le distribuzioni caratteristiche in uscita del modello di simulazione e del sistema reale, facendone un confronto. Da questo confronto ci si attende, nell'ipotesi di verifica della validità del modello, che la distribuzione dei dati di uscita del modello di simulazione sia "vicina" a quella rappresentativa delle risposte del sistema reale, pur consapevoli che una totale uguaglianza, nel caso di simulazione ad eventi discreti, risulta impossibile data la natura dei sistemi di simulazione scelti.

Per verificare la validità si verifica la rispondenza statistica tra le due distribuzioni delle uscite analizzate attraverso l'utilizzo di test quali il "test chi-quadro" o il "test di kolmogorov smirnov", in modo da avere una valutazione oggettiva sulla validità del modello.

4. CASI DI STUDIO

Di seguito tre casi studio esplicativi delle potenzialità legate all'utilizzo della metodologia descritta:

- Utilizzo della simulazione ad eventi discreti e del business process management per l'analisi quanti-qualitativa dei sistemi, in questi esempi si mostrerà come l'impiego della simulazione ad eventi discreti e delle tecniche del business process management può servire per andare a studiare i flussi di lavoro di un sistema reale, evidenziandone le caratteristiche e, a seguito di analisi, andare ad individuare delle strategie operative migliorative delle prestazioni;
- Utilizzo della simulazione ad eventi discreti per scopi formativi, in questo esempio la simulazione ad eventi discreti è utilizzata a supporto delle attività di analisi dei processi con lo scopo di migliorare il grado di conoscenza che gli operatori hanno dei sistemi nei quali lavorano permettendo di comprenderne meglio il funzionamento.

4.1 *UTILIZZO DELLA SIMULAZIONE AD EVENTI DISCRETI PER L'ANALISI QUANTITATIVA DEI FLUSSI DI LAVORO DEL CENTRO DI CURA DELL'IPERTENSIONE DELL'AZIENDA OSPEDALIERA UNIVERSITARIA FEDERICO II DI NAPOLI*

In questo studio utilizzando le tecniche di Simulazione ad Eventi Discreti a supporto delle metodologie del Business Process Management sono stati analizzati i comportamenti organizzativi ed i flussi di lavoro di una struttura sanitaria complessa come il Centro di Cura dell'Ipertensione dell'Azienda Ospedaliera Universitaria Federico II di Napoli. Questo studio è stato realizzato con il preciso scopo di andare a studiare i flussi di lavoro di tale struttura, evidenziandone le caratteristiche e, a seguito di analisi, andare ad individuare delle strategie operative che permettessero di ottenere un miglioramento delle prestazioni di tale struttura.

4.1.1 CONTESTO DI RIFERIMENTO

L'Azienda Ospedaliera Universitaria (AOU) Federico II di Napoli rappresenta una delle strutture a più elevata qualificazione e specializzazione sul territorio nazionale, ed è caratterizzata da una struttura particolarmente articolata, le cui prestazioni possono essere così riassunte:

- Ricoveri ordinari;
- Pronto Soccorso Ostetrico Ginecologico;
- Day Hospital;
- Day Surgery;
- Prestazioni Ambulatoriali;
- Analisi di Laboratorio.

Ad eccezione dei ricoveri di elezione per patologie ostetrico-ginecologiche - che richiedono interventi di emergenza o urgenza - la gestione delle attività medico-chirurgiche all'interno di tale struttura viene effettuata mediante l'utilizzo di "liste d'attesa" gestite all'interno delle singole strutture assistenziali, direttamente dai medici addetti agli ambulatori.

Nell'ambito dei diversi ambulatori presenti all'interno dell'AOU, ci si è soffermati sull'analisi dei flussi di lavoro caratterizzanti il Centro di Cura dell'Ipertensione. Tale analisi ha avuto l'obiettivo di ottenere una visione ampia e completa della gestione dei processi assistenziali, dal punto di vista dei costi, dell'impiego delle risorse e dei tempi di scorrimento delle liste di attesa, al fine di individuare strategie di ottimizzazione dei processi medesimi, mantenendo al contempo elevati i livelli di qualità delle cure fornite.

4.1.2 DISEGNO DEL MODELLO

La prima parte dello studio è stata mirata al raccoglimento dei dati necessari alla realizzazione di un modello di flusso. I dati raccolti sono stati ricavati, previa autorizzazione da parte della Direzione della struttura, mediante osservazione diretta delle attività svolte e interviste effettuate al Personale.

Una prima osservazione ha portato alla definizione delle strutture e dell'organigramma caratterizzanti il Centro; per quanto riguarda la sua organizzazione è la seguente:

- 3 Ambulatori per visite di controllo;
- 1 Laboratorio di Diagnostica non invasiva;
- 1 Laboratorio di Diagnostica/Biologia Molecolare;
- 1 Laboratorio per il controllo di qualità e la gestione informatica.

Inoltre il Centro è funzionalmente connesso con il Laboratorio di diagnostica invasiva, con i Reparti di degenza diurna (Day-Hospital) e ordinaria, e con il Reparto di Terapia Intensiva Coronarica (U.T.I.C.). L'organigramma risulta invece composto dalle seguenti figure professionali:

- 1 Direttore;
- 1 Professore Associato;
- 3 Ricercatori Universitari;
- 4 Specialisti Ambulatoriali;
- 1 Dirigente Medico Responsabile del Laboratorio;
- 8 Medici in formazione (Specializzandi);
- 3 Dirigenti sanitari a contratto (Biologi – Biotecnologi);
- 2 Dottorandi di Ricerca;
- 1 Unità di personale amministrativo a contratto.

L'osservazione diretta delle attività e le interviste al Personale hanno consentito di realizzare una prima rappresentazione schematica del percorso di cura del paziente all'interno del Centro, che si articola nelle seguenti fasi principali:

- Prima Visita, che prevede l'esecuzione dell'anamnesi, dell'esame obiettivo con la misurazione della Pressione, della visita specialistica e dell'ECG;
- Visite di Controllo, che vengono programmate all'atto della prima visita al fine effettuare un controllo successivo del paziente o per analizzare ulteriori esami diagnostici;

- Day Service, generalmente programmato in sede di Prima Visita per gestire situazioni cliniche complesse per le quali il ricovero in regime ordinario o in Day Hospital risulta inappropriato, ma si ravvisa la necessità di presa in carico del paziente per un inquadramento globale;
- Day Hospital;
- Ricovero Ordinario.

Tra le diverse tipologie di cure sopra menzionate, si è deciso di andare a studiare un modello che riproducesse il flusso legato alla gestione delle attività ambulatoriali – Prima Visita e Visite di Controllo - prevalenti all'interno del Centro. Sono pertanto state individuate le attività di base, ed è stato stimato il numero di visite eseguite all'interno di ognuno dei quattro laboratori (A, B, C e D) che compongono il Centro, nei diversi giorni della settimana. I dati rilevati sono riportati nella seguente Tabella:

Tabella 2. Visite ambulatoriali settimanali

GIORNO	TIPOLOGIA VISITA	NUMERO VISITE
Lunedì	Totali	30
Ambulatorio C	Visita di controllo	12
Ambulatorio B	Visita di controllo	12
Ambulatorio A	Prima Visita	6
Martedì	Totali	6
Ambulatorio D	Prima Visita	6
Mercoledì	Totali	30
Ambulatorio A	Visita di controllo	12
Ambulatorio B	Visita di controllo	12
Ambulatorio C	Prima Visita	6
Giovedì	Totali	18
Ambulatorio D	Visita di controllo	12
Ambulatorio B	Prima Visita	6
Venerdì	Totali	24
Ambulatorio A	Visita di controllo	12
Ambulatorio C	Visita di controllo	12

Sono state inoltre individuate le risorse disponibili all'interno di ogni laboratorio, come riportato in Tabella 3.

Tabella 3. Risorse impiegate all'interno dei laboratori del Centro di Ipertensione

AMBULATORIO	RISORSE
Ambulatorio A	1 Ricercatore Universitario + 1 Specializzando
Ambulatorio B	1 Ricercatore Universitario + 1 Specializzando
Ambulatorio C	1 Ricercatore Universitario + 1 Specializzando
Ambulatorio D	1 Ricercatore Universitario + 1 Specializzando
Laboratorio Eco	1 Specialista Ambulatoriale + 2 Specializzandi + 1 Ecografo

Dal momento che la Prima Visita e la Visita di Controllo sono caratterizzate dalla medesima sequenza di attività, esse sono state rappresentate mediante un unico flusso, mostrato in Figura 4:

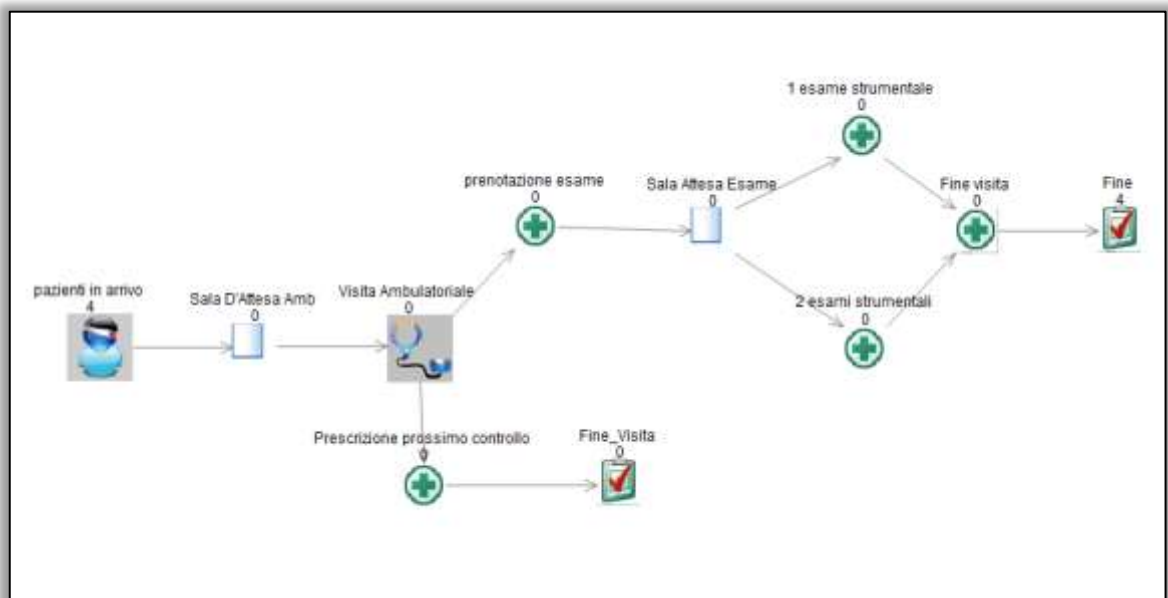


Figura 4. Rappresentazione del Flusso Ambulatoriale

Il punto centrale del flusso in oggetto è rappresentato dalla "Visita Ambulatoriale". Nel caso della prima visita, questo prevede anche la registrazione del paziente, cioè la raccolta dei dati anagrafici, anamnesi, e consenso informato.

Dopo la Visita Ambulatoriale il paziente può andare a casa, oppure eseguire uno o due esami diagnostici, quali Ecografia con Color Doppler dei Tronchi Sovraortici (Eco TSA) e Ecografia Cardiaca Monodimensionale-Bidimensionale con Color Doppler

(Ecocardiogramma), che vengono prenotati direttamente dal medico durante la visita, e vengono poi effettuati nel Laboratorio di Ecografia.

Il Centro di Cura dell'Ipertensione prevede una sola sala adibita a Laboratorio di Ecografia, per cui i pazienti provenienti dai diversi Ambulatori (A,B, C o D) saranno inseriti in una lista d'attesa comune per effettuare l'esame diagnostico. Dal momento che il Centro prevede lo svolgimento di attività ambulatoriali diverse a seconda dei giorni della settimana sono stati realizzati 5 diversi modelli di flusso per un'analisi quantitativa completa del processo. L'analisi tuttavia è stata eseguita per il solo flusso del Mercoledì, in quanto rappresentativo della giornata più "intensa" dal punto di vista lavorativo in quanto in tale giornata risultano attivi ben 3 laboratori su 4; in Figura 5 è presentato il modello del flusso di lavoro appena indicato.

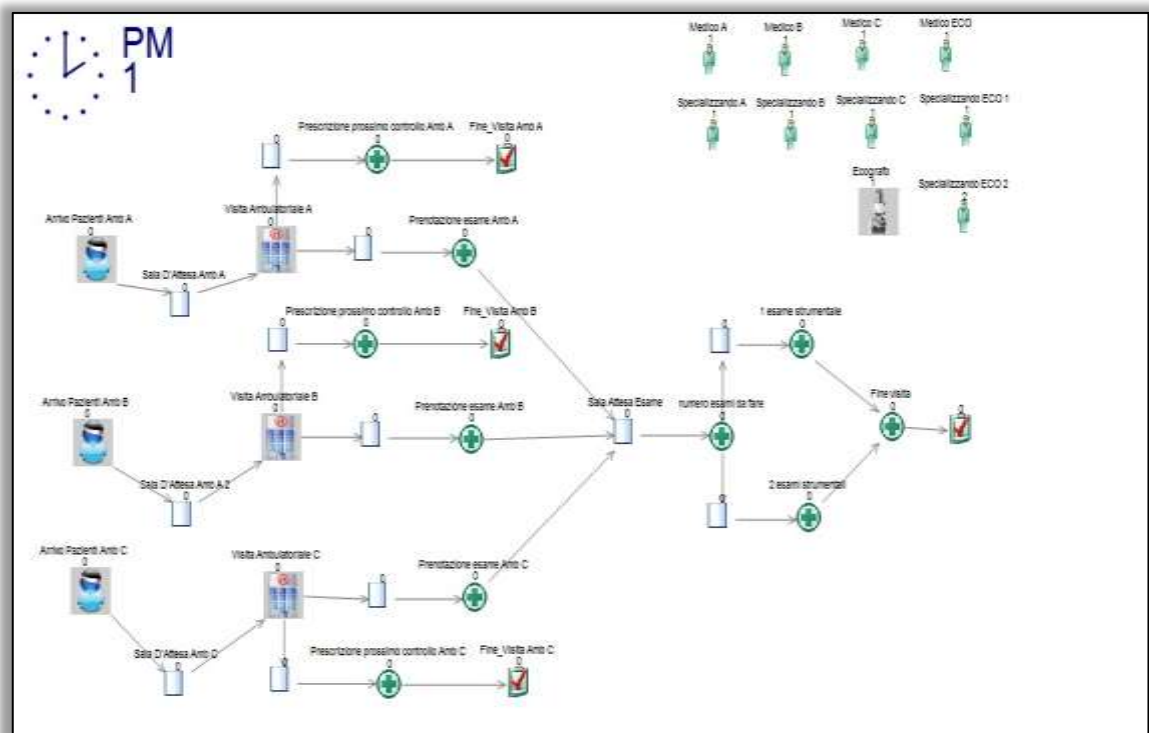


Figura 5. Flusso del Mercoledì

4.1.3 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI FUNZIONAMENTO DEL PROCESSO

Una volta disegnato il modello, si è reso necessario definire i parametri di funzionamento del processo, al fine di simularne l'esecuzione in maniera corretta. I parametri di riferimento scelti sono stati la durata delle attività e le risorse impiegate per lo svolgimento di ciascuna attività, come riportato in Tabella 4:

Tabella 4. Parametri di funzionamento del processo

ATTIVITÀ	RISORSA IMPIEGATA	TEMPO [MIN]
Prima Visita	1 Ricercatore Univ. + 1 Specializzando	25
Visita di controllo	1 Ricercatore Univ. + 1 Specializzando	15
1 Esame Strumentale	1 Specialista Ambulatoriale + 2 Specializzandi	15
2 Esami Strumentali	1 Specialista Ambulatoriale + 2 Specializzandi	30
Prenotazione Esame	1 Ricercatore Univ. + 1 Specializzando	15
Prescrizione Prossimo Controllo	1 Ricercatore Univ. + 1 Specializzando	1
Fine Visita	1 Ricercatore Univ. + 1 Specializzando	3

4.1.4 STIMA DEI COSTI DELLE RISORSE

Per determinare il costo delle attività, è stata effettuata una stima dei costi delle risorse impiegate nell'esecuzione del processo, considerando i seguenti fattori:

- Energia elettrica e gas: per il calcolo dei costi legati a queste risorse sono state fatte delle ipotesi semplificative, in quanto si è valutato che il consumo annuo di tali risorse fosse dovuto al riscaldamento dei locali nei mesi invernali, e al refrigeramento nei mesi estivi. Dopo aver rilevato la spesa annua sostenuta dall'AOU relativamente a tali utenze, è stata considerata la planimetria dell'edificio per identificare l'area funzionale d'interesse e determinare la quota per mq. Tale valore è stato poi utilizzato per determinare sia la spesa annua relativa ai locali in cui vengono svolte le attività del processo, sia il costo al minuto:

Tabella 5. Costo delle risorse

RISORSA ANALIZZATA	COSTO € AL MINUTO
Energia Elettrica	0,0017
Riscaldamento ed energia termofrigorifera + GAS	0,0017

- Costo del personale medico, a partire dai seguenti costi lordi (al netto di straordinari guardie, fascia oraria, rimborsi benzina e oneri aggiuntivi):

Tabella 6. Costo del Personale

PROFESSIONE	PERIODO DI RIFERIMENTO	COSTO €
Ricarore Universitario	Anno	55.000,00
	Mese	4.583,33
	Minuto	0.50
Specialista Ambulatoriale	Anno	42.000,00
	Mese	3.500,00
	Minuto	0,38
Specializzando	Anno	21.400,00
	Mese	1.783,33
	Minuto	0,20

- Costi legati all'Ecografo: è stato considerato il costo totale (comprensivo di manutenzione) ammortizzato in 5 anni e da questo è stato ricavato il costo a minuto:

Tabella 7. Costo dell'Ecografo

ECOGRAFO PHILIPS MOD. SONOS 5500		€
Costo da ammortizzare in 5 anni	X	140000,0000
Costo annuo	$Y=X/5$	28000,0000
Costo al giorno	$G=Y/365$	76,7123
Costo all'ora	$H=G/24$	3,1963
Costo al minuto	$I=H/60$	0,0533

Definiti i costi delle risorse, è stato possibile associarli ad ogni attività e risorsa del modello di simulazione.

4.1.5 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI SMISTAMENTO

Per definire il percorso seguito da ciascuna entità nel modello di simulazione, rappresentativo del singolo paziente all'interno del flusso, è stata attribuita una label, ossia una "etichetta" che permane collegata al singolo elemento e ne determina, attività per attività, il percorso nel modello. La tipologia e le assegnazioni iniziali alle label sono state definite in base alla analisi storica dei dati disponibili negli archivi del centro. In particolare, nel caso della Visita Ambulatoriale, è stato considerato che i

pazienti arrivano al Centro di Cura dell'Ipertensione dopo aver effettuato l'Accettazione e vengono poi smistati prima negli ambulatori e poi nei laboratori, a seconda che siano prescritti o meno esami diagnostici. L'assegnazione di un paziente ad un determinato ambulatorio è puramente casuale e dipende esclusivamente dal giorno in cui viene effettuato l'accesso al centro, ossia la prima visita. Una volta che il paziente viene smistato in un Ambulatorio, egli eseguirà tuttavia in questo stesso ambulatorio l'intero percorso di cura. Dal momento che la prima visita ha una durata circa doppia rispetto alla visita di controllo, è stato considerato, concordemente da quanto veniva fuori dai dati analizzati, che per i controlli vengono programmate 12 visite, mentre per le Prime Visite solo 6.

Per quanto concerne gli esami strumentali, al termine della visita ai pazienti può essere prescritto un singolo esame strumentale o un esame doppio: Ecografia con color doppler dei Tronchi Sovraortici (Eco TSA) e Ecografia cardiaca monodimensionale-bidimensionale con color doppler (Ecocardiogramma).

Generalmente viene previsto doppio esame per i pazienti che effettuano il primo accesso al centro in modo da poterne delineare il quadro clinico; per i controlli si esegue generalmente un singolo esame. Può capitare che il paziente abbia già effettuato gli esami diagnostici in una struttura esterna, per cui non è necessario eseguirli di nuovo, e di questo deve essere tenuto conto nel modello di simulazione.

La popolazione presa in esame in questo studio è costituita da circa 500 pazienti che hanno effettuato l'accesso in ambulatorio da Giugno 2012 a Dicembre 2012, sia per Prime Visite che per Visite di Controllo. I pazienti sono stati classificati al momento dell'anamnesi in base alla classificazione del Progetto Cuore, [46] in gruppi a basso/medio/alto Rischio Cardio Vascolare, sulla base dei seguenti fattori:

- Genere;
- Diabete;
- Età espressa in anni e considerata in decenni, 40-49, 50-59, 60-69;
- Abitudine al fumo;
- Range di pressione arteriosa sistolica;

- Colesterolemia espressa in mg/dl.

Sulla base dei valori delle caratteristiche elencate, i pazienti sono stati quindi suddivisi su base statistica in 5 classi di " Rischio Cardiovascolare":

- <5%;
- da 5% a 10%;
- da 10% a 20 %;
- da 20% a 40%;
- >40%.

Ad ognuno dei 500 elementi-paziente considerati è stata dunque associata la label corrispondente alla classe di rischio di appartenenza. Individuata la percentuale di pazienti assegnata ad ogni classe, è stato possibile determinare la funzione densità di probabilità che su base statistica assegnasse ad un elemento in ingresso nel sistema una determinata label, indicativa della classe. Nell'ambito di ogni singola classe, sono poi state definite delle soglie che determinano la scelta del numero di esami strumentali di cui necessita ogni paziente, in base ai valori di ogni parametro (colesterolo, diabete, fumo etc). Tali soglie considerate sono state inserite in un foglio di lavoro all'interno del sistema di simulazione e tramite il Visual Logic, il linguaggio di programmazione del software utilizzato, sono state implementate le funzioni che consentono il confronto tra i valori delle Label e tali valori soglia, in modo da smistare i pazienti verso il ramo giusto del flusso.

	A	B	C	D	E
1	Condizioni per verificare se fa bisogno di esami				
2	pressione	160	160	160	170
3	colesterolo	175	175	175	180
4	età	65	75	75	75
5	pressione 2	180	190	180	180
6	colesterolo 2	221	230	221	221
7	Condizioni per verificare se fare 1 o 2 esami				
8	pressione	160	170	160	170
9	colesterolo	175	180	175	180
10	pressione 2	180	190	190	180
11	colesterolo 2	221	230	230	221
12	età	75	75	75	75
13					

Figura 6. Spreadsheet e soglie

Per quanto riguarda le funzioni implementate sono stati definiti due controlli:

- il primo viene effettuato per determinare il Routing out, cioè stabilire se il paziente, dopo la visita ambulatoriale, necessita di ulteriori esami oppure può tornare a casa;
- il secondo permette di determinare il Numero di Esami da fare (1 o 2).

Come accennato in precedenza, il numero di elementi in ingresso al modello varia sia a seconda del numero di ambulatori disponibili nel particolare giorno della settimana considerato che in base alla tipologia di visita. La Tabella seguente riporta il numero di elementi previsto per ogni giorno della settimana, calcolato considerando la menzionata popolazione campione (500 pazienti).

Tabella 8 Numero di pazienti per giorno

GIORNO	NUMERO DI TOKEN
Lunedì	30
Martedì	6
Mercoledì	30
Giovedì	18
Venerdì	24

Per i pazienti in ingresso all'ambulatorio per Prima Visita è stato impostato il modello in modo che ci sia un arrivo ogni 10 min fino ad un massimo di 6 pazienti per ambulatorio; per i pazienti in ingresso per Visita di Controllo invece le tempistiche di arrivo sono di 5 min per un massimo di 12 pazienti per ambulatorio. Nel modello di simulazione le code sono gestite con modalità FIFO (First In First Out), inoltre il tempo di osservazione coincide con il tempo di simulazione.

4.1.6 ESECUZIONE DELLA SIMULAZIONE

Una volta definiti i parametri di funzionamento, è stato possibile effettuare la simulazione e valutare il funzionamento del processo attraverso i seguenti indicatori:

- Number Complete Job: numero di istanze eseguite e completate;

- Waiting %: percentuale di attesa per l'esecuzione di ciascuna attività;
- Working %: percentuale di lavoro per ogni singola attività;
- Utilization %: percentuale di utilizzo della risorsa;
- Time in System Minimum/Average/Maximum: tempo minimo/medio/massimo di giacenza nel flusso di ogni Token.

In Tabella 9 sono presentati i valori degli indicatori ricavati dall'analisi su un periodo di simulazione di una settimana.

Tabella 9. Flusso del mercoledì: risultati

RISULTATI MODELLO "AS-IS"						
Tempi			Risorse	Utilizzo	Tipo di Visite effettuate	Numero visite effettuate
Tempo di giacenza nel flusso	Minimo	51,14	Medico A	50,79%	Paz. 1 esame strumentale	5
	Medio	182,87	Medico B	47,53%	Paz. 2 esami strumentali	8
	Massimo	309,72	Medico C	36,37%	Paz. 0 esami	15
			Medico ECO	93,62%	non terminati	2
			Specializzando A	50,79%	Totale	30
			Specializzando B	47,53%		
			Specializzando C	36,37%		
			Specializzando ECO1	93,62%		
			Specializzando ECO2	46,81%		
			Ecografo	88,48%		

Oltre alle percentuali di utilizzo, dal modello simulato è stato possibile ottenere informazioni circa i costi sostenuti dalla struttura per il periodo di simulazione considerato.

Tabella 10. Analisi dei Costi

COSTO TOTALE	€
Attività lavorativa di Mercoledì	689,09

DETTAGLIO DELLE ATTIVITÀ E DELLE RISORSE IMPIEGATE	COSTO €
1 esame strumentale	0.26
2 esami strumentali	0.91
Coda 1 esame	0.55
Coda 2 esami	0.87
Coda esame 2	0.23
Coda esame 3	0.45
Coda esame	0.43
Ecografo	18.37
Fine visita	0.04
Medico A	98.91
Medico B	92.57
Medico C	70.82
Medico ECO	138.56
Numero esami da fare	0.02
Prenotazione esame Amb A	0.02
Prenotazione esame Amb B	0.02
Prenotazione esame Amb C	0.01
Prescrizione prossimo controllo Amb A	0.02
Prescrizione prossimo controllo Amb B	0.02
Prescrizione prossimo controllo Amb C	0.01
Sala Attesa Esame	4.58
Sala D'Attesa Amb A	4.20
Sala D'Attesa Amb C	1.33
Sala D'Attesa Ambul B	3.38
Specializzando A	39.56
Specializzando B	37.03
Specializzando C	28.33
Specializzando ECO 1	72.93
Specializzando ECO 2	72.93
Visita Ambulatoriale A	0.65
Visita Ambulatoriale B	0.61
Visita Ambulatoriale C	0.47

4.1.7 ANALISI DEI RISULTATI E VALIDAZIONE DEL MODELLO

I risultati ottenuti mediante la sono stati confrontati con i risultati effettivi del processo reale per verificare la correttezza del modello medesimo (validazione Black Box). Senza la validazione del modello è infatti impossibile passare dall'analisi del modello alla sua reingegnerizzazione, in quanto si presuppone che i cambiamenti effettuati sui parametri di processo del modello di simulazione abbiano degli effetti analoghi nel mondo reale, se e soltanto se, i risultati di tale modello sono allineati con il processo reale. Lo stesso vale per la coda formatasi al laboratorio strumentale. Il modello e i risultati ottenuti mediante la simulazione sono inoltre stati mostrati agli esperti del settore (validazione Open Box) i quali hanno confermato la corrispondenza alla realtà del modello reale e dei risultati ottenuti. Mediante queste due tipi di verifiche è stato accertato che i tempi di processo ed i tempi di attesa forniti dalla simulazione corrispondono con le rilevazioni del processo reale. Il numero totale di pazienti trattati nel modello simulato per la giornata scelta – Mercoledì - corrisponde con l'effettivo numero di pazienti che nel modello reale vengono trattati in questa giornata ed anche i tempi medi di giacenza nel flusso dei pazienti, presentati in Tabella 9, sono del tutto conformi al caso reale.

Di particolare interesse risulta l'analisi del flusso di lavoro del Laboratorio Strumentale in quanto dall'analisi è emerso che il numero di esami richiesti, supera la capacità delle risorse ed inoltre i tempi medi e massimi di giacenza dei pazienti nel flusso, sono particolarmente elevati; partendo da tali dati si è pensato a delle soluzioni che permettessero di migliorare la situazione lavorativa.

Come prima soluzione si è pensato di gestire "al meglio" il flusso di pazienti in ingresso al Centro di Ipertensione; cioè poiché tutti coloro che devono effettuare la Visita di Controllo sono già presenti nella Cartella Clinica Informatizzata dell'AOU, ed è noto il corrispondente Rischio Cardiovascolare, è possibile organizzare l'ordine di arrivo e di visita dei pazienti in base ad esso. Per i pazienti che invece devono effettuare la Prima Visita, l'ordine di visita resta subordinato all'ordine di arrivo. In questo modo, come mostrato in Tabella 11, si ottengono sia una riduzione dei tempi di attesa che un'ottimizzazione delle risorse impiegate:

Tabella 11. Flusso Reingegnerizzato – Ipotesi 1

SOLUZIONE 1		MERCOLEDÌ	CASO REALE		MERCOLEDÌ
T. di giacenza nel flusso [min]	minimo	28,01	T. di giacenza nel flusso [min]	minimo	51,14
	medio	155,09		medio	182,87
	massimo	256,42		massimo	309,72
Costo [€]		665,51	Costo [€]		689,09
Numero Pazienti Totali		30	Numero Pazienti Totali		30
Numero Pazienti che non terminano le procedure		0	Numero Pazienti che non terminano le procedure		2

Dal momento che non sempre i pazienti rispettano gli orari di arrivo previsti e sono frequenti disguidi e ritardi, è stata formulata un'ulteriore ipotesi, che consiste nell'aggiunta di un 2° Laboratorio Strumentale; tale soluzione presuppone anche l'impiego di ulteriori risorse umane:

- 1 Medico Specialista;
- 2 Specializzandi.

E di nuove apparecchiature:

- 1 nuovo ecografo.

Per la realizzazione di tale soluzione si è pensato di andare ad aggiungere un ulteriore ambulatorio, Ambulatorio E; in questo modo, considerando il flusso di lavoro su una settimana, è possibile avere, nei giorni nei quali operano gli ambulatori, 3 ambulatori funzionanti a pieno regime in modo da ammortizzare, in parte, i costi. L'adozione di tale soluzione richiede una modifica dei dati in ingresso relativi al numero di visite ed al flusso di lavoro; i dati sono mostrati in Tabella 12 per quanto riguarda le modifiche del numero di visite e nella Figura 4 sono presentate le modifiche al flusso lavorativo settimanale.

Tabella 12. Flusso Reingegnerizzato - Soluzione 2: Tabella di Lavoro

SOLUZIONE 2			MODELLO "AS-IS"		
Giorno	Tipologia Visita	Numero Visite	Giorno	Tipologia Visita	Numero Visite
Lunedì	Visite Totali	30	Lunedì	Visite Totali	30
Ambulatorio C	Visita di controllo	12	Ambulatorio C	Visita di	12

				controllo	
Ambulatorio B	Visita di controllo	12	Ambulatorio B	Visita di controllo	12
Ambulatorio A	Prima Visita	6	Ambulatorio A	Prima Visita	6
Martedì	Visite Totali	18	Martedì	Visite Totali	6
Ambulatorio D	Prima Visita	6	Ambulatorio D	Prima Visita	6
Ambulatorio E	Visita di controllo	12			
Mercoledì	Visite Totali	30	Mercoledì	Visite Totali	30
Ambulatorio A	Visita di controllo	12	Ambulatorio A	Visita di controllo	12
Ambulatorio B	Visita di controllo	12	Ambulatorio B	Visita di controllo	12
Ambulatorio C	Prima Visita	6	Ambulatorio C	Prima Visita	6
Giovedì	Visite Totali	30	Giovedì	Visite Totali	18
Ambulatorio B	Prima Visita	6	Ambulatorio B	Prima Visita	12
Ambulatorio D	Visita di controllo	12	Ambulatorio D	Visita di controllo	6
Ambulatorio E	Visita di controllo	12			
Venerdì	Visite Totali	30	Venerdì	Visite Totali	24
Ambulatorio A	Visita di controllo	12	Ambulatorio A	Visita di controllo	12
Ambulatorio C	Visita di controllo	12	Ambulatorio C	Visita di controllo	12
Ambulatorio E	Prima Visita	6			

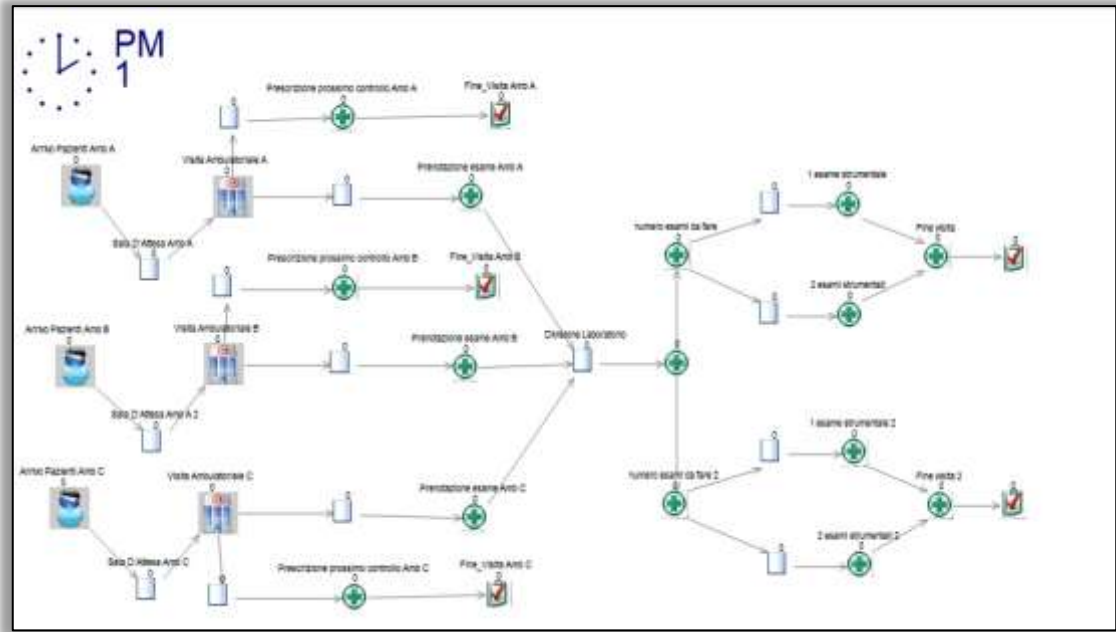


Figura 7. Flusso Reingegnerizzato - Soluzione 2

I risultati ottenuti, valutati rispetto alla giornata di Mercoledì, effettuando la simulazione per una settimana di lavoro con le nuove condizioni operative saranno:

Tabella 13. Flusso Reingegnerizzato – Soluzione 2: Risultati

SOLUZIONE 2		MERCOLEDÌ	CASO REALE		MERCOLEDÌ	
T. di giacenza nel flusso [min]	minimo	50,75	T. di giacenza nel flusso [min]	minimo	51,14	
		70,99			medio	182,87
	138,39	massimo		309,72		
	130,18					
		220,52				
		192,10				
Costo [€]		718,17	Costo [€]		689,09	
Numero Pazienti visitati		30	Numero Pazienti visitati		30	
Numero Pazienti che non terminano le procedure		0	Numero Pazienti che non terminano le procedure		2	

Sono inoltre stati valutati, in riferimento ad un'attività settimanale, i costi totali sostenuti dalla struttura, il numero totale di pazienti visitato ed il numero dei pazienti che rimangono in sospeso con il trattamento sia nel caso reale che nelle due configurazioni alternative proposte:

Tabella 14. Confronto Costi Totali e numero di Pazienti Trattati e Sospesi

CASO CONSIDERATO	N. PAZIENTI TRATTATI	N. DI PAZIENTI IN SOSPESO	COSTI TOTALI
Caso reale	108	4	2584,72
Soluzione 1	108	0	2414,78
Soluzione 2	138	0	3327,78

Infine sono stati calcolati i costi delle singole prestazioni ottenuti per ciascun caso considerato e sono stati confrontati:

Tabella 15: Confronto dei costi per singole prestazioni

CASO	COSTO SINGOLA PRESTAZIONE [€]
Caso Reale	30,055
Soluzione 1	25,154
Soluzione 2	28,937

4.1.8 RISULTATI DELLO STUDIO

Dall'analisi dei risultati ottenuti, si può notare come la Soluzione 1 fornisca una evidente riduzione dei tempi di attesa, a parità di costo e di gestione delle risorse e del personale rispetto al Caso Reale; la Soluzione 2 invece, oltre a determinare una riduzione dei tempi di attesa dei pazienti, si ha una diminuzione dei costi delle singole prestazioni, in quanto aumentano i costi totali, ma effettuando più esami di laboratorio, il costo totale dell'attività lavorativa diminuisce.

Tabella 16: Confronto dei risultati tra il Caso Reale e le Soluzioni 1 e 2

RISULTATI MERCOLEDÌ		CASO REALE	SOLUZIONE 1	VARIAZIONE PERCENTUALE	SOLUZIONE 2	VARIAZIONE PERCENTUALE
Tempi di giacenza nel flusso [min]	minimo	51,14	28,01	-45,23	50,75	-0,76
					70,99	38,82
	medio	182,87	155,09	-15,19	138,39	-24,32
					130,18	-28,81
	massimo	309,72	256,42	-17,21	220,52	-28,80
					192,10	-37,98
Costo [€]		689,09	665,51	-3,42	718,17	4,22

Numero Pazienti visitati	30	30	0	30	0,00
Numero Pazienti che non terminano le procedure	2	0	-100,00	0	-100,00

Dall'analisi dei dati presentati in Tabella 16 è possibile vedere che:

- la soluzione 1 determina una diminuzione dei tempi di permanenza dei pazienti all'interno del modello, una riduzione totale dei pazienti in attesa ed al contempo una diminuzione del costo per le prestazioni erogate;
- la soluzione 2 anche determina una generale riduzione dei tempi ma è opportuno soffermarsi sui risultati; i tempi minimi di giacenza nel modello, per i due end point presentano un andamento differente in quanto per il primo end point si ha una diminuzione minima dei tempi di uscita mentre per il secondo si ha addirittura un aumento dei tempi di uscita, tale condizione non preoccupa in quanto questi comportamenti sono del tutto compensati dalle diminuzioni dei tempi medi e massimi di giacenza nel modello per i quali si hanno forti riduzioni, molto maggiori rispetto a quelle ottenute con la soluzione 1. Per la soluzione 2 si ha, come per la soluzione 1, un abbattimento totale di pazienti in attesa ma un aumento dei costi per le prestazioni erogate.

I costi meritano un'analisi ulteriore in quanto, esaminando i risultati relativi ai costi riportati in Tabella 16 e prima ancora in Tabella 14 e Tabella 15, si vede che:

- la soluzione 1 è sicuramente la più economica delle due proposte, comportando una diminuzione dei costi per singola prestazione e totali;
- la soluzione 2 determina un aumento dei costi totali ma una diminuzione dei costi per singola prestazione.

Da questa analisi si può affermare quindi che tra le due soluzioni proposte la seconda è la migliore in quanto, a fronte di un aumento contenuto dei costi totali, garantisce una forte riduzione dei tempi e dei costi delle singole attività.

4.2 STUDIO DEI FLUSSI DI LAVORO DI UN LABORATORIO DI ANALISI CLINICHE MEDIANTE L'USO DELLA SIMULAZIONE AD EVENTI DISCRETI

Con questo lavoro si è studiato, grazie all'utilizzo combinato delle tecniche di Simulazione ad Eventi Discreti e delle tecnologie del Business Process Management, il comportamento del Laboratorio di Analisi del Presidio Ospedaliero San Paolo di Napoli al fine di riprodurre il funzionamento, analizzarlo attraverso lo studio di indici di performance e migliorarlo attraverso l'individuazione di nuove soluzioni organizzativo/gestionali.

Il lavoro ha avuto origine dal desiderio dei Gestori del Sistema di riuscire ad avere informazioni precise, puntuali e tempestive sulle performance del Sistema in modo da riuscire a gestirlo al meglio e superare i problemi di:

- Scarsa tempestività dei dati di gestione;
- Difficoltà di reperimento delle informazioni necessarie per la corretta gestione del Sistema.

Gli obiettivi di questo lavoro sono stati:

- Definire in maniera chiara e rigorosa, le attività;
- Ottenere nuove informazioni sulle attività;
- Identificare i punti di debolezza del sistema;
- Proporre flussi di lavoro alternativi per migliorare le performance del sistema e studiare la risposta al cambiamento del sistema.

Quest'ultimo punto in particolare, ha consentito di comprendere le conseguenze di configurazioni alternative di processo attraverso l'analisi di indici di performance (KPI); grazie a questi indici, presentati in Tabella 17, hanno permesso di fare una valutazione quantitativa oltre che qualitativa delle performance del processo e di valutare inoltre la necessità o meno di adottare le modifiche analizzate.

Tabella 17. KPI del modello

TIPO	KPI
<i>Indici prestazionali Quali-Quantitativi</i>	Numero di lavori completati
	Numero totale di ciascun tipo di esame
	Percentuale di utilizzo delle Risorse Umane
<i>Indici prestazionali relative ai Tempi</i>	Tempo medio nel sistema
<i>Indici prestazionali relative ai Costi</i>	Costo per Esame
	Costi totali per Esami e Risorse
	Costo delle Risorse

4.2.1 ATTIVITÀ DEL LABORATORIO DI ANALISI ED ORGANIZZAZIONE DEI FLUSSI DI LAVORO

La struttura considerata è organizzata in sette Sezioni, ciascuna adibita a differenti attività; inoltre in ciascuna Sezione lavora del personale specifico. In Tabella 18 sono mostrate le differenti Sezioni con le relative attività svolte ed il personale coinvolto.

Tabella 18. Organizzazione delle attività e delle risorse del Laboratorio di Analisi

TIPO DI ATTIVITÀ	NOME DELLA SEZIONE	TIPO DI RISORSA	RUOLO	ATTIVITÀ PERFORMATE	NUMERO DI RISORSE
Routine Activities	Chimica Clinica (CC)	tecn_cc	Tecnico	Test di Chimica Clinica	3
		dott_cc	Dottore	Test di Chimica Clinica	2
	Batteriologia (BA)	tecn_ba	Tecnico	Test Batteriologici	2
		dott_ba	Dottore	Test Batteriologici	3
	Sierologia (SI)	dott_si	Dottore	Test di Sierologia	1
	Sezione Ormoni (SO)	dott_so	Dottore	Test Ormoni	2
	Allergologia (AL)	dott_al	Dottore	Test di Allergologia	1
	Sezione QPE (QP)	tecn_qp	Tecnico	Test di Siero-	1

TIPO DI ATTIVITÀ	NOME DELLA SEZIONE	TIPO DI RISORSA	RUOLO	ATTIVITÀ PERFORMATE	NUMERO DI RISORSE
				Elettroforesi	
		dott_qp	Dottore	Test di Siero-Elettroforesi	2
Urgent Activities	Sezione Urgenze (SU)	tecn_su	Tecnico	Esami Urgenti	1
		dott_su	Dottore	Esami Urgenti	1
Primario			Dottore	Supervisione delle attività del Laboratorio	1

Le Sezioni operano in parallelo; le ore settimanali di lavoro sono 36 per i tecnici e 38 per i medici. Il Primario svolge solo attività di supervisione delle attività svolte dagli altri tipi di risorse; le attività lavorative possono essere suddivise in: (i) "Attività di Routine", organizzate su un unico turno giornaliero di 6 ore, per 7 giorni alla settimana; (ii) "Attività Urgenti", effettuate con una modalità 24/7.

L'accettazione delle richieste di esame è una fase preliminare e comune per tutte le successive attività del Laboratorio di Analisi; in Tabella 19 è mostrata l'organizzazione delle attività, a seconda del tipo di richieste ricevute.

Tabella 19. Tipo di richiesta in ingresso, origine della richiesta e organizzazione delle attività

TIPO DI RICHIESTA	ORIGINE DELLA RICHIESTA	TIMING	
		GIORNI	ORE
Non Urgenti	Interna	Da Lunedì-a Sabato	08.00 A.M. to 10.30 A.M.
	Esterna	Da Lunedì-a Sabato	11.00 A.M. to 12.00 A.M.
Urgenti	Interna/Esterna	Non ci sono limitazioni di orari e/o giorni	

Ad ogni richiesta di esame può essere associato uno o più campioni di sangue; ogni modulo di richiesta contiene informazioni su:

- Dati anagrafici del paziente;
- Informazioni sull'esame richiesto;
- Informazioni sul medico richiedente;
- Informazioni sulla diagnosi (presunta).

I campioni di sangue sono trasportati in provette sigillate con tappi colorati mentre i campioni di altro tipo sono trasportati in contenitori differenti (ad esempio contenitori di plastica o tamponi con terreno di coltura). In base al tipo di esame da effettuare sulla provetta questa presenterà un tappo di uno specifico colore.

4.2.2 COSTRUZIONE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE

Per la costruzione del modello di simulazione il primo passo è stato quello di osservare direttamente le attività svolte all'interno del Laboratorio di Analisi; tale fase è durata circa sei mesi. I dati ottenuti in questo modo sono stati poi integrati e migliorati mediante informazioni ricavate a seguito di sondaggi conoscitivi somministrati al personale della struttura. Attraverso questi questionari sono state ricavate informazioni circa:

- • Il ruolo del personale;
- • Responsabilità del personale;
- • Osservazioni generali;
- • Criticità.

Dopo aver ottenuto queste informazioni lo step successivo è stato quello di definire il timing del modello di simulazione. I dati relativi al comportamento del sistema reale sono stati valutati su un periodo di una settimana; sono state analizzate le informazioni riguardanti il numero di esami svolti, le tempistiche e le risorse coinvolte nelle attività, per il periodo che va dal 01/10/2012 al 08/10/2012. Questo periodo è stato scelto, a seguito di analisi fatta assieme agli operatori del sistema considerato, perché fortemente rappresentativo dei tipici carichi di lavoro del Laboratorio di Analisi. Il tempo di simulazione ovviamente è stato impostato su di una settimana.

I dati del sistema reale analizzati sono quelli contenuti all'interno dei database del Sistema Informativo di Laboratorio, nello specifico riguardano:

- Informazioni circa gli esami eseguiti;
- Informazioni sui pazienti trattati;
- Il reparto che ha chiesto l'esame;
- Data e ora dell'esame richiesto;
- Elenco degli esami prescritti.

Inoltre da questi dati è stato possibile ricavare le seguenti informazioni:

- Numero e tipo di richieste di esami di routine interne;
- Numero e tipo di richieste per esami urgenti;
- Numero e tipo di richieste di esami di routine esterne.

Questi risultati sono stati integrati con quelli provenienti sia dalle osservazioni dirette del flusso di lavoro che dei questionari sottoposti al personale. Questa attività di integrazione delle informazioni è stata necessaria in quanto ogni singolo flusso di informazioni di per sé potrebbe non essere sufficiente a ricostruire il modello in modo completo ed esaustivo. Lo schema descrittivo (osservazioni dirette, raccolta di dati dai sistemi IT e questionari) è mostrato in Figura 8.

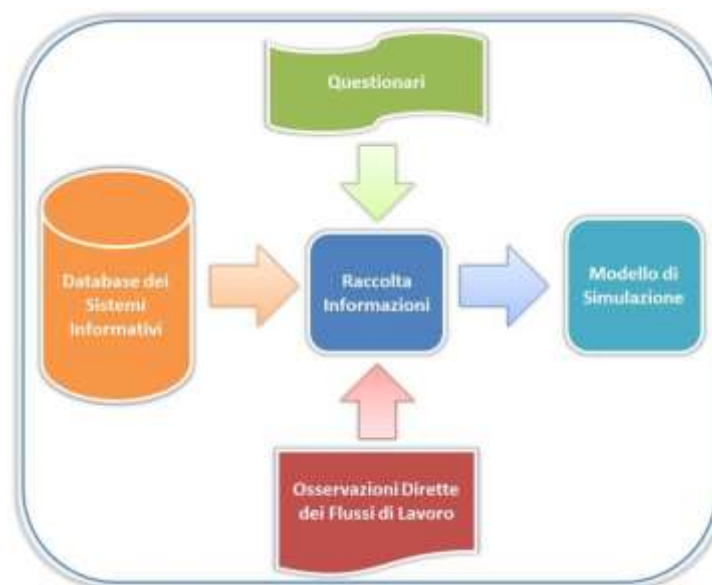


Figura 8. Sistema di raccolta informazioni

Per la definizione dei comportamenti delle attività del modello due sono stati gli elementi presi in considerazione:

- Gli istanti di accadimento delle richieste – Quando?
- Il tipo di test da eseguire – Cosa?

Inoltre per modellare gli ingressi in maniera opportuna, sono stati considerati degli attributi specifici degli elementi in ingresso quali:

- Tipo di esame richiesto in base all'urgenza;
- Provenienza dell'esame;
- Sezione in cui eseguire l'esame.

La distinzione tra "attività di routine" ed "attività urgenti" è stata necessaria perché il flusso delle attività di routine è stato l'unico considerato in questa analisi poiché tali attività sono, sia quantitativamente che qualitativamente esplicitivi del funzionamento del sistema sotto esame.

Per ottenere una corretta profilatura del comportamento del modello sono stati identificati due differenti ingressi a seconda dell'origine della richiesta di esami, interna o esterna. Inoltre i tipi di esame sono stati classificati in 15 macro aree. Il modello è stato progettato tenendo conto delle suddette 15 macro aree, e del fatto che esse operano in parallelo, in modo da rappresentare tutte le attività che ci sono dall'accettazione dei campioni fino alla refertazione. In ingresso al modello sono stati usati dei file .csv (fogli a valori separati da virgola) contenenti tutte le informazioni riguardanti gli elementi in ingresso necessarie per il corretto funzionamento del modello di simulazione; in particolare tali file contengono informazioni circa:

- ID richiesta;
- I tempi effettivi di arrivo delle richieste al laboratorio;
- Tipi di esame di ogni richiesta;
- Il numero di campioni che ogni singola richiesta comprende.

I dati contenuti nei file .csv sono stati ricavati dai log dei database del sistema informativo di laboratorio.

In Figura 9 è presentato il diagramma di flusso delle attività del Laboratorio di Analisi che è servito come schema iniziale per la successiva strutturazione del modello di simulazione, presentato poi in Figura 10.



Figura 9. Diagramma di flusso delle attività del Laboratorio di Analisi

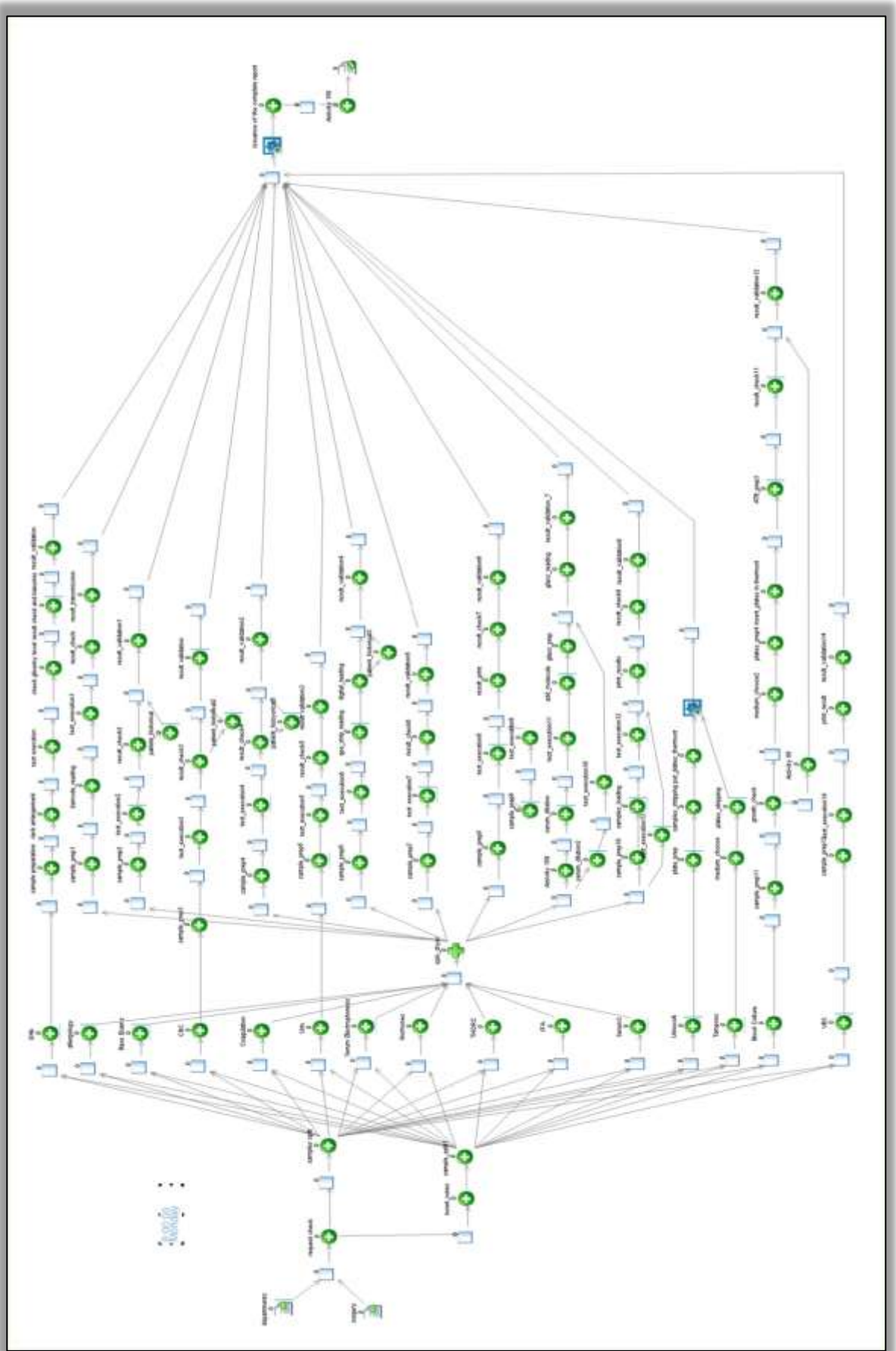


Figure 10. Modello di simulazione del Laboratorio di Analisi

4.2.3 FASI DALLA RICHIESTA ALL'ESECUZIONE DEGLI ESAMI

In Figura 11 sono mostrate le attività relative alle fasi iniziali del modello, quelle relative all'ingresso dei campioni nella struttura e di successivo smistamento degli stessi in base ai valori impostati nei file .csv in ingresso. In questa fase, gli operatori del gruppo CC, vedi Tabella 2, verificano la corrispondenza tra il tipo di richiesta effettuata e il tipo di provette ricevute; in caso di corrispondenza verificata, la richiesta è accettata ed è possibile procedere con l'esame, altrimenti una nota viene inserita in un file, relativo alla richiesta, nella quale viene indicata la ragione per cui non è stato possibile eseguire l'esame.

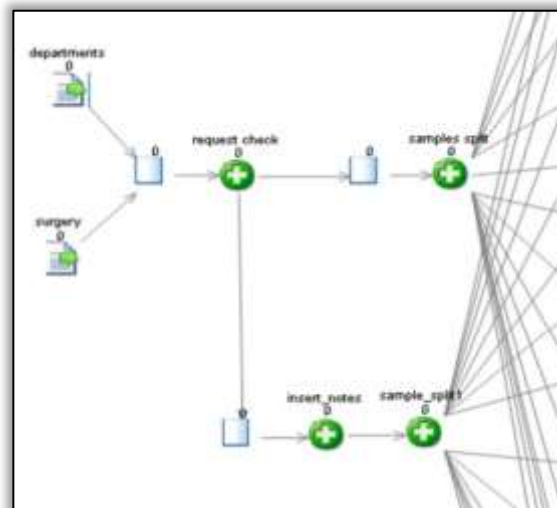


Figura 11. Fase iniziale e smistamento dei campioni

La gestione dei campioni in ingresso è stato ottenuto mediante un'operazione di "batching" nell'attività di suddivisione campioni (sample_split). L'operazione di batching è una suddivisione dell'elemento iniziale, che individua la richiesta, in un numero di elementi pari al numero dei campioni che compongono quella stessa richiesta.

Dopo queste prime fasi i campioni verranno smistati a seconda del tipo di esami da svolgere. Per alcuni tipi di esami (allergologia, esami base, coagulazione o altri) dopo la fase di ordinamento vi è la necessità di una centrifuga dei campioni (Figura 12). L'attività di centrifugazione è necessaria per preparare i campioni agli esami successivi, l'attività di centrifuga dura 6 minuti, e dopo questa fase i campioni riprendono il proprio percorso nel modello (Figura 12).

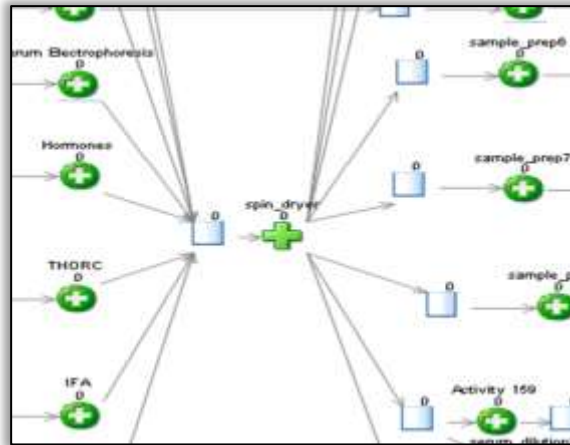


Figura 12. Centrifuga

In Figura 13 sono presentate le attività successive a quelle presentate precedentemente in Figura 11 e Figura 12.

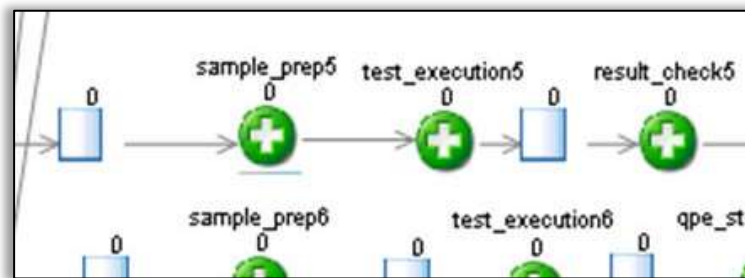


Figure 13. Fase di accumulo e preparazione dei campioni

Il piano giornaliero di lavoro del Laboratorio definisce il numero ed il tipo di esami che giornalmente vengono eseguiti nella struttura; il numero giornaliero di ciascun tipo di esame varia, giornalmente, a seconda del numero di richieste ricevute quotidianamente. In Tabella 20 sono presentati, per gli esami che lo richiedono, il numero di campioni da accumulare e le fasi preliminari da eseguire sulle provette.

Tabella 20. Numero dei campioni accumulati e fasi preliminari per ogni esame

TIPO D'ESAME	NUMERO DI CAMPIONI ACCUMULATI	FASI PRELIMINARI	DESCRIZIONE DELLE FASI PRELIMINARI
GHb	5	Preparazione dei Campioni	I campioni sono preparati per gli esami
Allergologia	10	Preparazione dei	I campioni sono preparati per

TIPO D'ESAME	NUMERO DI CAMPIONI ACCUMULATI	FASI PRELIMINARI	DESCRIZIONE DELLE FASI PRELIMINARI
		Campioni	gli esami
Esami Base, CBC, Coagulazione, Urine	Variabile, a seconda del numero di esami da eseguire	Preparazione dei Campioni	I campioni sono preparati per gli esami
Urino coltura, Tamponi	Variabile, a seconda del numero di esami da eseguire	Preparazione dei Campioni	I campioni sono preparati per gli esami
		Preparazione della Piastra	I campioni sono posizionati sul terreno di coltura e inseriti in un termostato nel quale sono lasciati per 24 ore per permettere la crescita delle colonie batteriche, ove presenti
Emocoltura	Variabile, a seconda del numero di esami da eseguire	Preparazione dei Campioni	Le bottigliette di vetro contenenti i campioni per gli esami ed il terreno di coltura sono tenuti in un incubatore per permettere la crescita batterica
		Preparazione della Piastra	I campioni sono posizionati sul terreno di coltura e inseriti in un termostato nel quale sono lasciati per 24 ore per permettere la crescita delle colonie batteriche, ove presenti

4.2.4 FASI DAI RISULTATI ALLA REFERTAZIONE

I risultati possono essere riferiti sia a richieste di esame provenienti dall'esterno della struttura, che a quelle relative a pazienti che sono invece ricoverati presso il Presidio

Ospedaliero San Paolo di Napoli. Questa distinzione è importante ai fini delle fasi finali del flusso di lavoro analizzati in quanto, se la richiesta di esami proviene dall'esterno della struttura (cioè il paziente è esterno) i risultati degli esami sono valutati, validati, viene fatto il referto, il tutto viene immagazzinato nei sistemi di archiviazione del sistema informativo del laboratorio, ed il paziente potrà ritirare i risultati degli esami nei giorni di apertura al pubblico del Laboratorio. Nel caso di pazienti interni a queste attività si aggiunge quella di confronto dei risultati degli esami con quelli precedentemente archiviati, ai fini dell'analisi dell'evoluzione dello stato di salute del paziente; inoltre i risultati degli esami dei pazienti interni sono disponibili per la consultazione, sia da parte del personale che dei pazienti stessi, subito dopo essere stati ultimati. Le tempistiche per le attività di valutazione, validazione e refertazione sono molto variabili in base al tipo di esame e/o esami richiesti; in Tabella 21 sono riportati i tempi medi di valutazione, validazione e refertazione degli esami.

Tabella 21. Tempi di Valutazione, Validazione e Refertazione per gli Esami

TIPO DI ESAME	TEMPO
Base, Coagulazione, CBC, Urine	1 giorno
Test ormonali	48 – 52 ore
Allergologia, Sierologia	7 giorni
Batteriologia, Urino coltura, Tamponi	1 settimana
Emocoltura	2 settimane

4.2.5 VALIDAZIONE ED ANALISI DEL MODELLO DI SIMULAZIONE

Il modello che è stato creato analizzando tutte le fasi di lavoro e le attività dei processi del Laboratorio di analisi, è stato validato con i metodi descritti precedentemente; in particolare:

- per quanto riguarda la fase della validazione Open-Box, il modello è stato mostrato a:
 - Dirigenti medici;

- Biologi;
 - Tecnici di Laboratorio;
 - Primario del Laboratorio.
- Per quanto riguarda la fase della validazione Black-Box, i parametri presi a riferimento per il confronto tra il modello di simulazione creato ed il sistema reale sono stati:
 - Numero totale delle richieste di esame;
 - Numero di richieste per singolo esame;
 - Numero totale di esami eseguiti;
 - Numero di esami eseguiti suddivisi per tipo di esame;
 - Tempo intercorso tra la richiesta di esami e l'esecuzione degli stessi.

Il risultato delle fasi di verifica e validazione del modello è stato quello di confermare che il modello di simulazione creato è una buona approssimazione del sistema reale.

4.2.6 ANALISI "AS-IS"

Successivamente alla validazione del modello di simulazione è stata eseguita l'analisi "As-Is" del modello. Al fine di ottenere dei risultati che fossero statisticamente validi, le simulazioni sono state implementate su un grande numero di esecuzioni del modello, circa 395. Per ogni singola esecuzione della simulazione sono state valutate sia la numerosità che le caratteristiche dei campioni ed è stato verificato che il loro comportamento fosse conforme a quanto previsto. Durante questa prima analisi del modello è stata eseguita un'analisi delle risorse umane coinvolte nelle attività del Laboratorio di Analisi; partendo dal "costo per minuto" e dai "costi ulteriori fissi" di ogni tipo di risorsa, sono stati valutati i costi effettivi delle risorse umane in funzione delle attività svolte. La figura del Primario ha solo un ruolo di supervisione delle attività all'interno del Laboratorio di Analisi, occupandosi anche di attività non strettamente legate all'esecuzione degli esami, quindi il costo di tale risorsa è stato calcolato in minima parte come funzione del "costo al minuto" e come maggior parte come funzione del "costo ulteriore fisso".

Dall'analisi dei risultati mostrati nelle successive tabelle è possibile vedere come grazie all'utilizzo dei modelli di simulazione ad eventi discreti è stato possibile avere una stima quantitativa dei costi delle differenti risorse impiegate per le attività lavorative, in funzione delle attività svolte e del loro effettivo carico di lavoro. Inoltre è stato possibile valutare i costi relativi ad una specifica categoria di lavoratori, sempre in funzione delle attività svolte e del carico di lavoro effettivo.

4.2.7 ANALISI "WHAT-IF"

Successivamente all'analisi "As-Is" il lavoro è proseguito con lo scopo, condiviso con il personale della struttura ed in particolare con i manager, di capire come massimizzare le attività di lavoro, mantenendo i costi accettabili mediante lo studio di una nuova organizzazione delle attività; questo è stato realizzato mediante l'utilizzo di scenari alternativi di funzionamento, o scenari "What-If". Per valutare il comportamento del sistema nei differenti scenari, si sono utilizzati i KPI descritti precedentemente

- Scenario #1: Aumento del numero degli esami:
 - Nel primo esperimento, o primo scenario "What-If", è stato ipotizzato solo un aumento delle richieste di esame, cioè un aumento degli ingressi del sistema. Per riuscire a gestire al meglio questo aumento delle richieste in ingresso è stato considerato un numero di risorse nell'attività di accettazione compreso tra 2 e 3, per evitare eccessive code all'ingresso del modello.
- Scenario #2: Aumento del numero di esami e aggiunta di una risorsa:
 - Nel secondo esperimento invece oltre all'aumento delle richieste, è stato considerato un aumento delle risorse per la Chimica Clinica; in questa sezione è stato aggiunto un tecnico di laboratorio. Anche in questo scenario, così come per il primo, non sono state apportate modifiche alla struttura del modello, cioè il flusso delle attività è rimasto invariato rispetto al modello "As-Is".

4.2.8 RISULTATI DELLO STUDIO

In Tabella 22 sono mostrati i risultati del modello "As-Is" confrontati con quelli dei due scenari "What-If".

Tabella 22. Confronto tra i risultati relativi agli esami eseguiti

KPI DI RIFERIMENTO	MODELLO "AS-IS"	"AS-IS" VS. SCENARIO #1	"AS-IS" VS. SCENARIO #2
Numero di esami completati	553	922	926
<i>[Variazione Percentuale]</i>		+66.72694	+67.45027
Tempo Medio nel Sistema (min.)	369.38	528.28	447.67
<i>[Variazione Percentuale]</i>		+43.01803	+21.19498

Dai dati presentati, risulta che, nonostante il numero elevato degli esami completati nei due scenari alternativi all'"As-Is", l'introduzione di una nuova risorsa nel secondo scenario rende possibile il contenimento del tempo di attesa nel sistema dei campioni. Un'analisi simile a quella presentata poc'anzi è stata eseguita anche sulle risorse, ed è mostrata in Tabella 23; dall'analisi dei dati si vede che:

- molte risorse hanno valori di utilizzo simili nei due scenari "What-If" (Tecnico_qpe);
- un piccolo gruppo di risorse mostra valori più bassi di utilizzo nel secondo scenario (Tecnico_cc, Dottore_cc, Tecnico_ba).

Tabella 23. Confronto tra i risultati relativi all'utilizzo delle risorse

RISORSA	MODELLO "AS-IS"	"AS-IS" VS. SCENARIO #1	"AS-IS" VS. SCENARIO #2
Tecnico_cc	67.70	96.29	85.04
<i>[Variazione Percentuale]</i>		+42.23	+25.61
Dottore_cc	52.74	89.57	66.28
<i>[Variazione Percentuale]</i>		+69.83	+25.67
Tecnico_ba	37.04	51.20	49.48
<i>[Variazione Percentuale]</i>		+38.23	+33.58
Dottore_ba	18.88	29.53	29.92
<i>[Variazione Percentuale]</i>		+56.41	+58.47

RISORSA	MODELLO "AS-IS"	"AS-IS" VS. SCENARIO #1	"AS-IS" VS. SCENARIO #2
Dottore_sierologia	40.04	61.31	61.31
<i>[Variazione Percentuale]</i>		+53.12	+53.12
Dottore_ormoni	17.63	19.92	19.92
<i>[Variazione Percentuale]</i>		+12.99	+12.99
Tecnico_qpe	63.03	79.55	79.55
<i>[Variazione Percentuale]</i>		+26.21	+26.21
Dottore_qpe	39.79	61.74	61.76
<i>[Variazione Percentuale]</i>		+55.16	+55.21

L'aumento dell'utilizzo delle risorse è particolarmente significativo nella Scenario #1: l'introduzione di una nuova risorsa nello scenario #2 ha delle ricadute positive specialmente per quanto riguarda le risorse impiegate nella sezione CC, le altre risorse invece non mostrano significativi cambiamenti nelle percentuali di utilizzo.

Nella Tabella 24 sono mostrati i costi relativi alle risorse, valutati in base all'effettivo tempo di lavoro nel modello, al variare delle condizioni operative ("As-Is", Scenario #1, Scenario#2).

Tabella 24. Confronto tra i risultati relativi ai costi

CATEGORIA DI COSTO	"AS-IS"	"AS-IS" VS. SCENARIO #1	"AS-IS" VS. SCENARIO #2
	COSTO (€)		
Costo totale dovuto a numero di risorse e costi capitali	23359.55	23359.55	24754.93
		0	+5.97
Costo totale dovuto all'utilizzo delle risorse	22050.49	22050.07	22815.87
<i>[Variazione Percentuale]</i>		-0.0019	+3.47
Tecnico_cc Costo Totale	2720.98	2838.43	3628

CATEGORIA DI COSTO	"AS-IS"	"AS-IS" VS. SCENARIO #1	"AS-IS" VS. SCENARIO #2
	COSTO (€)		
<i>[Variazione Percentuale]</i>		+4.32	+33.33
Dottore_cc Costo Totale	3420.00	3143.19	3419.82
<i>[Variazione Percentuale]</i>		-8.09	-0.00526
Tecnico_ba Costo Totale	1824.00	1814.88	1181.1
<i>[Variazione Percentuale]</i>		-0.5	-35.25
Dottore_ba Costo Totale	4628.48	4828.44	5130
<i>[Variazione Percentuale]</i>		+4.32	+10.83
Dottore_sierologia Costo Totale	1710.00	1710	1709.95
<i>[Variazione Percentuale]</i>		0	-0.00292
Dottore_ormoni Costo Totale	3420.00	3355.72	3420
<i>[Variazione Percentuale]</i>		-1.88	0
Tecnico_qpe Costo Totale	907.03	919.42	907
<i>[Variazione Percentuale]</i>		+1.36	-0.00331
Dottore_qpe Costo Totale	3420.00	3439.99	3420
<i>[Variazione Percentuale]</i>		+0.58	0

È possibile verificare come le fluttuazioni percentuali sono più limitate nel primo scenario rispetto al secondo. In particolare, si nota come le modifiche che caratterizzano il primo scenario hanno effetto solo su alcune risorse (es. Dottore_cc e Tecnico_cc) mentre lasciano sostanzialmente invariato il flusso di lavoro, cioè il solo aumento delle richieste di esame produce una diminuzione del carico di lavoro per la risorsa Medico della sezione di Chimica Clinica, mentre un incremento del carico di lavoro per i Tecnici di questa sezione e per i Medici della sezione Batteriologia.

Nel secondo scenario l'introduzione di un nuovo Tecnico nella sezione Chimica Clinica determina un aumento dei costi dovuto all'introduzione di una ulteriore risorsa; riguardo alle percentuali di utilizzo si determina una diminuzione dei carichi di lavoro delle risorse della Sezione Chimica Clinica, un aumento di carico di lavoro dei Medici della sezione Batteriologia ed un decremento del carico di lavoro per i Tecnici della sezione Batteriologia.

Per quanto riguarda gli altri tipi di risorse si hanno piccole variazioni nelle percentuali di utilizzo tra il modello "As-Is" e i due scenari "What-If.

Grazie all'impiego della DES e le tecniche del BPM è stato possibile capire i principali fattori che influenzano la variazione dei costi tra gli scenari, in particolare:

- il numero di risorse utilizzate;
- il numero e il tipo di esami eseguiti;
- il tempo speso per ogni singola attività.

La Tabella 25 e la Tabella 26 mostrano i risultati dell'analisi dei costi eseguita nei differenti scenari.

Tabella 25. Confronto tra i costi degli esami

CATEGORIA DI COSTO	"AS-IS"		SCENARIO #1		SCENARIO #2	
	NUMERO DI ESAMI	COSTO (€)	NUMERO DI ESAMI	COSTO (€)	NUMERO DI ESAMI	COSTO (€)
GHb	15	4.1	25	3.93	25	3.93
Allergologia	10	5.33	10	5.29	10	5.28
Esami Base	426	3.26	755	3.26	755	3
CBC	358	2.84	634	2,73	634	2,61
Coagulazione	190	3,97	331	3,89	331	3.73
Urine	179	3.24	309	3.19	309	3.19
Siero Elettroforesi	180	8.86	297	8,81	300	8,8
Ormoni	132	1,59	180	1,57	180	1,54
THORC	10	20,4	30	17,03	30	17,03

CATEGORIA DI COSTO	"AS-IS"		SCENARIO #1		SCENARIO #2	
	NUMERO DI ESAMI	COSTO (€)	NUMERO DI ESAMI	COSTO (€)	NUMERO DI ESAMI	COSTO (€)
IFA	10	25	0	0	0	0
Siero3	10	17,13	30	16,22	30	16,22
Urino colture	39	12,95	63	12,9	63	10,79
Tamponi	3	15,34	5	13,08	5	13,01
Emocolture	2	28,58	2	28,55	3	20,79
VES	22	2,73	33	1,21	33	1,08
Costi totali degli esami	6952.81		11488.37		11048.66	

Il numero degli esami IFA in entrambi gli scenari è uguale a zero poiché questo tipo di esami non sarebbe stato più eseguito presso la struttura considerata; l'esecuzione di questo tipo di esame è stata delocalizzata e quindi esso non è stato valutato nelle analisi "What-If".

Tabella 26. Variazione percentuale del costo degli esami

CATEGORIA DI COSTO	VARIAZIONE PERCENTUALE DEL COSTO	
	"AS-IS" VS. SCENARIO #1	"AS-IS" VS. SCENARIO #2
GHb	- 4.15	- 4.15
Allergologia	- 0.75	- 0.94
Esami Base	0	- 7.97
CBC	- 3.87	- 8.09
Coagulazione	- 2.01	- 6.04
Urine	- 1.54	- 1.54
SieroElettroforesi	- 0.56	- 0.68

CATEGORIA DI COSTO	VARIAZIONE PERCENTUALE DEL COSTO	
	"AS-IS" VS. SCENARIO #1	"AS-IS" VS. SCENARIO #2
Ormoni	- 1.26	- 3.14
THORC	- 16.52	- 16.52
Siero3	- 5.31	- 5.31
Urino colture	- 0.39	- 16.68
Tamponi	- 14.73	- 15.19
Emocolture	- 0.11	- 27.26
VES	- 55.68	- 60.44

Entrambe gli scenari "What-If" permettono l'introduzione di elementi che migliorano i flussi di lavoro del Laboratorio di Analisi, determinando un significativo incremento del numero di esami completati e l'avvio di economie di scala che portano ad un decremento dei costi. È interessante inoltre analizzare la diminuzione percentuale dei costi nel secondo scenario che ha mostrato come l'introduzione di una nuova risorsa influenzi i carichi di lavoro in modo tale da determinare un'efficienza delle attività lavorative che ha come effetto una diminuzione dei costi per singolo esame, che determina un risparmio a lungo termine superiore ai costi sostenuti per l'introduzione della nuova risorsa.

4.3 *DES E BPM PER L'ANALISI QUANTI-QUALITATIVA DEI SISTEMI: RISULTATI*

I lavori presentati precedentemente hanno dimostrato come attraverso l'utilizzo delle tecniche di simulazione, della simulazione ad eventi discreti in particolare, utilizzata come strumento operativo per l'applicazione delle tecniche del business process management, sia possibile non soltanto analizzare qualitativamente processi complessi come quelli del settore sanitario, ma anche valutarli quantitativamente, individuandone le criticità per trovare gli aspetti da modificare prioritariamente modificati al fine di incrementarne la performance globale, e valutarne ipotesi di reingegnerizzazione. In particolare è possibile affermare che:

- l'uso della simulazione permette l'accesso a una serie di dati ed informazioni prima difficilmente ottenibili, molto utili soprattutto per i gestori dei sistemi sanitari;
- la possibilità di valutare ex-ante sia i costi che i risultati ottenibili a seguito dell'adozione di differenti soluzioni funzionali/operative/organizzative, permette di poter scegliere in maniera ottimale quella da adottare in funzione degli specifici bisogni aziendali;
- la possibilità di scegliere tra molteplici KPI, rende possibile l'analisi dei sistemi sotto molti e nuovi punti di vista.

4.4 SCHEMA DI PRINCIPIO DI UN MODELLO DI SIMULAZIONE AD EVENTI DISCRETI PER UN REPARTO OSPEDALIERO

Con questo progetto si è andato ad analizzare, attraverso un modello di simulazione, il comportamento di un generico reparto di una struttura ospedaliera complessa, l'Azienda Ospedaliera Universitaria (AOU) "Federico II" di Napoli nello specifico, focalizzandosi sull'analisi delle attività del personale non medico di reparto, cioè Infermieri e Personale di Supporto.

Lo scopo di tale studio è duplice, da un lato quello di riuscire ad individuare ed analizzare una serie di KPI in grado di fornirci informazioni sul funzionamento del modello in condizioni normali, oltre a prevederne il comportamento, a seguito di variazioni dello status corrente; dall'altro quello di riuscire a migliorare il grado di conoscenza che gli operatori hanno del sistema reale in modo da far comprendere al meglio le attività ed i processi che compongono il sistema reale e le ricadute che il lavoro di ogni singola risorsa ha sul funzionamento del sistema stesso. Il modello può funzionare secondo due modalità:

- la prima "vincolata" alle norme più comunemente utilizzate in materia di dimensionamento delle risorse [47]; in questo caso le risorse sono quelle fissate dalla formula indicata dalle suddette normative, ed è parimenti possibile verificare il comportamento in termini di code ed efficienza di uso delle risorse.

- la seconda “non vincolata”, nella quale è possibile inserire il numero di risorse disponibili e verificare il comportamento del sistema in termini di code di attesa e di efficienza di uso delle risorse;

In entrambi i casi è possibile analizzare il funzionamento del sistema con un indice di complessità fisso o variabile, indicando inoltre per ogni singolo paziente, il relativo codice ICD-9 [48].

4.4.1 MATERIALI E METODI

Per realizzare il modello sono state raccolte informazioni sia attraverso lo studio delle norme vigenti, sia da interviste non strutturate somministrate ad alcuni Capo Sala esperti, in staff alla Direzione Sanitaria. A seguito di questa fase di raccolta delle informazioni è stato creato uno schema di massima, presentato in Figura 14, che è servito come architettura di base per la definizione del successivo modello di simulazione.

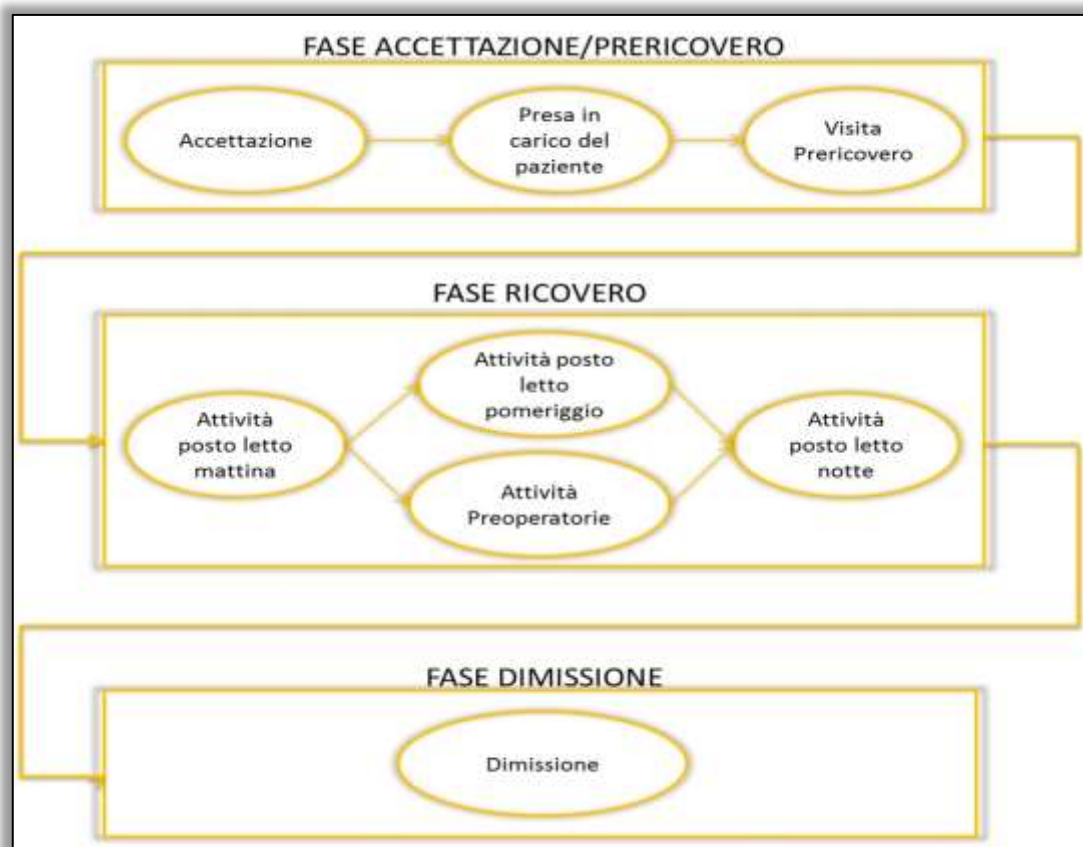


Figura 14. Diagramma delle attività

nella configurazione corrente. E poi infine all'analisi "What-If" nella quale sono eseguite modifiche del modello al fine di verificarne le ricadute negli indicatori di performance del sistema.

Il modello è stato realizzato in modo da tener conto di tutte le attività svolte sia dagli infermieri che dal personale di supporto; sono state considerate sia le attività programmate che quelle non programmate, in tre diverse fasce temporali, Mattina, Pomeriggio e Notte. Il periodo di simulazione considerato è pari a 6 giorni, inoltre è stato impostato un tempo di avvio del sistema, o warm-up time, il tempo nel quale il funzionamento del modello di simulazione va a regime, pari ad un mese.

L'elemento unitario del modello di simulazione, rispetto al quale vengono eseguite le analisi e le valutazioni in questo lavoro, è il paziente. In ingresso al modello di simulazione il numero degli elementi nello "Start Point" è definito uguale al numero dei pazienti dimessi giornalmente. Subito dopo la fase di ingresso nel modello di simulazione ci sono le attività del blocco Accettazione, in questo blocco ci sono le attività che precedono l'assegnazione del paziente ad un posto letto e che sono:

- Accettazione;
- Presa in carico del paziente;
- Visite effettuate prima dell'assegnazione del letto.

Il flusso delle attività prosegue con le attività svolte presso il posto letto del paziente, e le attività preoperatorie, che si susseguono secondo una cadenza organizzata in base a tre fasce orarie:

- Attività Mattutine;
- Attività Pomeridiane/Attività Preoperatorie;
- Attività Notturne.

Le attività preoperatorie comprendono quelle prestazioni che ogni paziente che entra nella struttura riceve, almeno una volta dovendo sostenere un intervento chirurgico. Ad ognuna delle attività è ovviamente associata una durata e un certo numero e tipo di risorse, il che permette di verificare sia se la quantità di risorse assegnata a ciascuna attività è idonea al numero di pazienti trattati sia di calcolare la eventuale presenza di code e l'efficienza di utilizzo del personale disponibile.

Alle attività tipicamente infermieristiche di reparto sopra descritte se ne aggiungono altre, di natura organizzativa, dipendenti sia dal numero di pazienti presenti in reparto che dalle modalità di gestione del reparto stesso; queste attività sono state rappresentate in un flusso separato, ma coesistente rispetto a quello principale, e presentato in Figura 16.

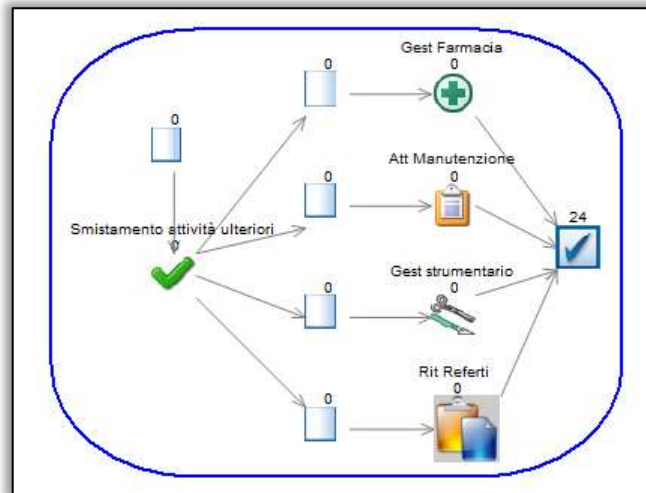


Figura 16. Flusso delle attività ulteriori

La durata di queste attività dipende dal numero di pazienti presenti in reparto che concorre a determinare i carichi di lavoro delle risorse assegnate a tali attività ulteriori; informazioni circa il tipo e la durata delle attività sono state comunque ottenute attraverso interviste al personale e sono presentate in Tabella 27.

Tabella 27. Attività di supporto, tempi e risorse associate

ATTIVITÀ DI SUPPORTO NON SUI PAZIENTI	TIPO DI ATTIVITÀ SVOLTA	RISORSA	OCCORRENZA
Attività Gestione Farmacia	Gestione del magazzino farmaci	Infermiere	Mattina
Attività Manutenzione	-	Infermieri	Ogni Turno (10 min)
Attività Gestione Strumentario	Pulizia e preparazione degli strumenti sia per interventi che per visite mediche	Personale di supporto	Ogni turno (25 min)

sistema in funzione dei cambiamenti, appare chiaro il perché il modello di simulazione è stato realizzato in modo da poter essere una sorta di “template” adattabile a differenti condizioni operative e differenti sistemi reali. Per fare ciò sono state introdotte nel modello una serie di variabili definibili dall'utente, attraverso le quali è possibile adattare il modello a diverse situazioni operative; i valori che è possibile settare sono:

- Numero di posti letto del reparto;
- Indice di occupazione;
- Tasso di dimissione (numero di pazienti che al giorno viene dimesso dal reparto);
- Indice di case mix (fornisce una stima della complessità del reparto in questione);
- Percentuale (oppure il numero assoluto, in modalità libera) di infermieri presenti in ogni turno, rispetto al totale presente nell'intera giornata lavorativa;
- Percentuale (oppure il numero assoluto, in modalità libera) di personale di supporto presente in ogni turno, rispetto al totale presente nell'intera giornata lavorativa.

Vi è inoltre la possibilità di inserire le tempistiche per le attività facenti parte del flusso secondario:

- tempi delle attività di supporto

Una volta inseriti tutti i dati è stata eseguita la simulazione del modello; se lo scopo del modello fosse quello di eseguire analisi quali-quantitative del sistema allora il numero di simulazioni dovrebbe essere abbastanza numeroso da rendere i dati ricavati statisticamente robusti, essendo lo scopo di questo lavoro invece quello di mostrare solo il funzionamento del modello si è ritenuto sufficiente simulare il modello solo una volta e mostrare attraverso una serie di grafici selezionabili dall'utente, indicazioni in merito all'andamento nel tempo delle variabili che caratterizzano il funzionamento del modello quali:

- il numero di risorse impegnate;
- le percentuali di impiego delle risorse;

- l'andamento delle varie code presenti nel modello.

Al termine della simulazione vengono presentate le informazioni ricavate circa:

- % Utilizzo infermieri;
- % Utilizzo Personale di supporto;
- Minuti di assistenza erogati giornalmente al paziente.

4.4.2.1 MODALITÀ DI FUNZIONAMENTO VINCOLATA

Dai valori della Tabella 28 è possibile calcolare il numero di infermieri e di personale di supporto che devono essere presenti quotidianamente in reparto tramite la seguente formula [47]:

- $n^{\circ} \text{ infermieri} = PL * T.O.M. * I.C.I.$
- $n^{\circ} \text{ Personale di supporto} = PL * T.O.M. * I.C.O.$

dove:

- PL = Posti Letto;
- T.O.M. = Tasso di Occupazione Media;
- I.C. I. = Indice Complessità Infermieri;
- I.C.O. = Indice Complessità Personale di supporto.

Per evitare di avere valori discontinui nei risultati, si è provveduto a linearizzare il legame tra case mix e indici di complessità assistenziale. Per quanto riguarda i tempi di esecuzione delle attività nel modello, questi sono stati calcolati, con una formula inversa, partendo dall'indice di case mix:

- $\text{Minuti di assistenza giornalieri (infermiere)/paziente} = \frac{[[\text{Ore_turno} * n^{\circ} \text{ infermieri}] * 60]}{[\text{posti letto occupati}]}$;
- $\text{Minuti di assistenza giornalieri (Personale di supporto)/paziente} = \frac{[[\text{Ore_turno} * n^{\circ} \text{ Personale di supporto}] * 60]}{[\text{posti letto occupati}]}$.

I valori così ottenuti sono stati adoperati per settare le tempistiche delle varie attività svolte dal personale. In ogni attività, quindi, il valore di minuti giornalieri totali ottenuto tramite le formule è stato moltiplicato per una percentuale (ricavata in fase di analisi), indicante la porzione media di tempo dedicata in ogni specifica attività rispetto al totale, in modo da avere poi sempre che nel complesso venga rispettato il tempo di esecuzione specifico indicato in tabella.

4.4.2.2 MODALITÀ DI FUNZIONAMENTO LIBERA

In questa modalità di funzionamento i tempi per le varie attività sono stati valutati a seguito delle interviste tenendo conto dell'esperienza del personale di un tipico reparto a bassa complessità; tali tempi risultano fissati in modo indipendente dalla formula e vengono moltiplicati per un coefficiente proporzionale all'indice di complessità dello specifico reparto.

In questa modalità di funzionamento il numero di risorse di reparto, sia infermieri che personale di supporto, viene indicato liberamente all'atto dell'avvio della simulazione mediante apposita interfaccia.

4.4.3 VALIDAZIONE DEL MODELLO

Per quanto concerne la validazione del modello è stata seguita la procedura descritta precedentemente e che si articola nella validazione formale e nella validazione strutturale; in particolare per quanto riguarda la validazione strutturale e nello specifico la validazione Black-Box i dati utilizzati per il confronto sono stati:

- Numero di dimessi;
- Tempi medi di degenza;
- Turn over post letto.

Dalle verifiche effettuate, è stato possibile riscontrare che il modello di simulazione implementato costituisce una corretta rappresentazione del sistema reale.

4.4.4 RISULTATI

Per dimostrare quelli sono i risultati che è possibile analizzare con il modello di simulazione creato, nelle Tabelle 29, 30 e 31 sono riportate le informazioni ottenute eseguendo la simulazione per un reparto a media complessità di 20 posti letto, il cui tasso di occupazione è pari all'80%, ed il cui tasso di dimissione è pari a 2 (cioè ogni giorno vengono dimessi 2 pazienti).

Il numero di risorse varia in base al turno di lavoro; sono stati individuati tre turni di lavoro:

- I turno dalle 07.30 alle 13.50 - Mattina

- Il turno dalle 13.30 alle 19.50 - Pomeriggio;
- III turno dalle 19.30 alle 07.50 - Notte.

Il numero delle risorse definite in base ai dati di funzionamento inseriti è:

Tabella 29. Numero di risorse per turno

TURNO DI LAVORO	RISORSA	NUMERO DI RISORSE
I Turno	Infermiere	3
II Turno	Infermiere	2
III Turno	Infermiere	2
I Turno	Personale di supporto	2
II Turno	Personale di supporto	1
III Turno	Personale di supporto	1

Su tale numero di risorse i valori delle percentuali di utilizzo e dei tempi di assistenza per il personale infermieristico e di supporto in funzione del case mix sono riportati in Tabella 30 e Tabella 31.

Tabella 30. Percentuali di utilizzo degli Infermieri

CASE MIX	% DI UTILIZZO DEGLI INFERMIERI	MINUTI DI ASSISTENZA EROGATI DAGLI INFERMIERI
0.5	52.87	82.2
1	41.9	126
2	54.29	190.8
3.5	36.75	720

Tabella 31. Percentuali di utilizzo del Personale di supporto

CASE MIX	% DI UTILIZZO DEL PERSONALE DI SUPPORTO	MINUTI DI ASSISTENZA EROGATI DAL PERSONALE DI SUPPORTO
0.5	59.97	64.8

1	50.84	75.6
3.5	57.74	126

Mediamente il valore della percentuale di utilizzo degli infermieri, rispetto al loro tempo totale di lavoro nel sistema stesso, è di circa il 48%; lo stesso indicatore per il personale di supporto si attesta invece a circa il 53%. Tali valori indicano che entrambe le risorse in questione sono mediamente impiegate per circa la metà del proprio potenziale, del tutto in linea a quanto normalmente accade nella realtà –nel modello non viene infatti, tenuto conto delle numerose “perdite di tempo” legate agli spostamenti, alle pause di riposo, o qualunque altro motivo non strettamente inerente le attività indicate nel modello.

I risultati riportati nelle tabelle 30 e 31 rappresentano quindi il comportamento di un reparto che riproduca le condizioni di lavoro (numero di risorse e tempistiche di lavoro) indicati nel modello; nella misura in cui questo corrisponda al vero il modello si può considerare la stima dello stato presente (Modello “As Is”).

Partendo dalla considerazione che, avendo validato il modello questo rappresenta l’“As-Is” del sistema reale, e che quindi i dati ottenuti in Tabella 30 e Tabella 31 sono indicativi del funzionamento del sistema reale, è possibile intervenire sul modello con eventuali modifiche ai tempi e/o alla struttura, al fine di prevenire le conseguenze di cambiamenti organizzativo-gestionali che si vogliono apportare al modello reale eseguendo quindi delle analisi “What If”.

4.5 UTILIZZO DELLA SIMULAZIONE AD EVENTI DISCRETI PER FINALITÀ FORMATIVE: RISULTATI

Questa modalità di utilizzo dei modelli di simulazione ad eventi discreti non si incentra tanto sull’analisi di tipo quali-quantitativo dei sistemi, quanto sul riuscire ad accrescere il grado di conoscenza che gli operatori hanno dei sistemi nei quali lavorano permettendo di:

- Capire il funzionamento del modello, mostrando agli operatori i suoi punti di forza ed i suoi punti di debolezza;

- **Avere in tempi rapidi delle stime preventive su modifiche organizzative, in genere complesse da analizzare in altri modi.**

Tutto questo viene ha un valore fortemente formativo per il personale della struttura che riesce a capire l'impatto che il proprio lavoro ha sul funzionamento del sistema e quali sono le migliori prassi lavorative da adottare e le conseguenze dei comportamenti errati.

5. SVILUPPI FUTURI: UTILIZZO DELLE TECNICHE DI PROCESS MINING A SUPPORTO DELLA SIMULAZIONE

La simulazione ad eventi discreti certamente può costituire un potente strumento per l'analisi e la gestione dei processi sanitari ma, come detto precedentemente, una questione fortemente sentita, quando si parla di simulazione, è quella riguardante la verifica e la validazione dei modelli creati; durante lo studio, questo problema è stato affrontato attraverso la definizione formale di una serie di "consuetudini" operative e procedure che sono state utilizzate per la verifica e la validazione dei modelli di simulazione - in particolare per i modelli di simulazione ad eventi discreti – e che sono descritte precedentemente in *"Verifica e Validazione del Modello di Simulazione"*.

Ma, proprio nella parte finale di questo studio si è tornati su questa questione e, grazie allo studio di nuove tecniche di analisi dei dati si è affrontato il problema della validazione dei modelli arrivando a formalizzare una procedura operativa – tutt'ora in fase di perfezionamento – che, attraverso l'utilizzo di tecniche di data mining, permette di ottenere un modello di simulazione ad eventi discreti a partire dai dati di log di un sistema reale, superando in questo modo il problema della validazione del modello "As-Is" in quanto sicuramente conforme al sistema stesso poiché derivato direttamente dai suoi dati.

Per fare questo si utilizzano tre software, due basati sull'utilizzo di tecniche di process e data mining, Disco [51] e Prom6 [52], uno che permette di realizzare modelli di simulazione ad eventi discreti, Simul8.

Una fase preliminare è quella di analisi dei dati di log con il software Disco; in tale fase, attraverso tale software è possibile creare mappe visuali e modelli di processo a partire dai file di log dei processi in maniera automatizzata controllando le deviazioni dei comportamenti dei processi rispetto ai percorsi definiti come "standard" e fare alcune analisi statistiche su di essi in maniera rapida e semplice.

Con tale strumento risulta tuttavia difficoltoso fare analisi di tipo predittivo sui comportamenti di un sistema/modello al variare delle condizioni operative. Questa fase di elaborazione dei file di log con DISCO è utile in quanto permette di fare una

serie di analisi statistiche che permettono di individuare caratteristiche dei flussi analizzati.

Il file di log del sistema reale può essere fornito sia in formato .csv che in formato di tabelle Excel, l'importante è la sua correttezza, infatti questo software permette solo di creare modelli la cui struttura e caratteristiche dipendono dalla completezza ed accuratezza del file di log importati. Il modello creato viene poi salvato in un formato di tipo XES importabile nel software Prom6, in modo da poter fare ulteriori analisi.

Successivamente all'analisi ed elaborazione del file di log mediante utilizzo di DISCO vi è il primo passo da eseguire con il software Prom6; tale fase iniziale è chiamata Process Discovery - Scoperta del Processo - e permette di generare un modello di processo, a partire dai dati contenuti in un file di log; è possibile importare tale log sia sotto forma di file XES (eXtensible Event Stream), cioè esportato dal software Disco come visto precedentemente, oppure sotto forma di file .csv o file Excel.

Prom6 un software il cui funzionamento è basato su una serie di plugin che compiono differenti tipi di attività sui dati, ci sono vari plugin che permettono di scoprire il processo, nello specifico del processo descritto nello studio la scelta del plugin è ricaduta sull'"Inductive Miner Infrequent Petri-Net", grazie al quale è possibile risalire alla rete di Petri che descrive il comportamento di un determinato processo a partire dai dati contenuti in un file di log. La scelta è ricaduta su questo plugin poiché permette di scegliere il livello di rumore, cioè la fitness¹ dei dati, importati consentendo di trattare in maniera ottimale anche log contenenti dati molto "rumorosi", cioè che presentano molti errori come quelli con i quali ci si è trovati a dover lavorare nel corso dello studio.

Il file ottenuto alla fine di questa elaborazione come detto è una rete di Petri che può essere salvata in vari formati ma che, allo stato attuale, non è utilizzabile per definire la struttura di un modello di simulazione ad eventi discreti. Per riuscire ad ottenere un modello di simulazione a partire da una struttura preesistente il software utilizzato permetteva l'import di file in formato BPMN, quindi è stata fatta una trasformazione da Rete di Petri a modello BPMN grazie ad un altro plugin di Prom6. Il plugin utilizzato

¹ Quando si parla di fitness si intende l'aderenza della rete di Petri creata ai dati di log utilizzati per la sua creazione; poter scegliere tale aderenza, garantisce di avere modelli robusti anche in presenza di dati spuri.

è stato il “Convert a petri-net into BPMN diagram” che, come dice il nome, permette la conversione di una Rete di Petri in un diagramma BPMN

Il diagramma BPMN ottenuto ed importato in Simul8 è utilizzabile come struttura logica, sequenza delle attività e, soprattutto, modello di emulazione ad eventi discreti del sistema reale², permettendo quindi di fare tutti i tipi di analisi visti precedentemente. Per verificare che il modello di simulazione ottenuto a seguito di questi passaggi sia corretto sia rispetto al file di log che alla Rete di Petri, e che inoltre tale modello rispecchi quello che è il flusso di lavoro tipico di un determinato sistema, si può fare un doppio controllo:

1. Il primo, di tipo osservazionale, assieme agli operatori del sistema, valutando il numero ed il nome delle attività rappresentate e la loro sequenza, verificando la corrispondenza tra attività descritte nel file di log, attività rappresentate nella Rete di Petri e attività rappresentate nel diagramma BPMN. Questo primo controllo viene ad assumere un valore differente rispetto a quello descritto precedentemente circa la validazione di tipo Open-Box in quanto:
 - la validazione Open-Box vista precedentemente è eseguita assieme agli operatori del sistema ed è il solo strumento utilizzabile per la verifica che la struttura del modello rispecchi quella dei flussi di lavoro, che in questo caso sono quelli ottenuti a seguito di interviste con gli operatori stessi e all'osservazione diretta delle attività da parte degli analisti;
 - la valutazione del numero, del nome e della successione logica delle attività fatta a seguito dell'utilizzo della procedura di definizione del modello con le tecniche di Process Mining, serve da ulteriore conferma alla correttezza del modello creato, ma non per la strutturazione del modello; permettendo quindi di svincolare la fase di definizione della struttura da fattori “soggettivi”.
2. Il secondo controllo da eseguire è quello relativo alla verifica della conformità tra il modello di simulazione ad eventi discreti realizzato e la Rete di Petri ottenuta dai log:

² Simul8 permette di tener conto della distinzione tra coda ed attività tipica dei modelli DES all'interno di un diagramma BPMN

- Si fa in modo da estrarre dal modello di simulazione ad eventi discreti realizzato un log degli eventi, questa operazione, dato lo specifico software utilizzato è fatta mediante l'utilizzo di codice Visual Logic inserito in ogni attività del processo in modo da avere, alla fine della simulazione, informazioni riguardanti sia la risorsa che ha svolto ogni singola attività che le tempistiche caratteristiche delle attività stesse; il log ottenuto è esportabile in un file di tipo Excel e con questo file viene eseguita la procedura descritta precedentemente, mediante l'utilizzo di DISCO e Prom6, per la definizione della Rete di Petri associata al log.

In questa fase di controllo del modello di simulazione, oltre alle azioni descritte nella procedura ad inizio capitolo, si procede anche ad una valutazione della conformità tra la Rete di Petri derivata dal modello di simulazione e quella ottenuta dai log del sistema reale. Questa serie di attività prendono il nome di verifica di conformità che, molto semplicemente, si basa sul principio del confronto tra modelli: il modello di Rete di Petri ottenuto dal log del sistema reale è confrontato con quello ottenuto dai log dal modello simulato, mediante l'utilizzo di un plugin di Prom6 chiamato "Conformance Checking"; attraverso l'utilizzo di questo plugin viene valutato il grado di somiglianza tra i due elementi confrontati (le due Reti di Petri) attraverso l'analisi della fitness che più è alta, al massimo 1, più indica che gli elementi confrontati sono simili, al massimo uguali.

Oltre alla valutazione della struttura di un modello di simulazione ad eventi discreti, attraverso la procedura descritta precedentemente impiegando altri plugin in Prom6, è possibile ricavare altri tipi di informazioni quali i tempi o le percentuali di uscita delle attività o ancora alcune caratteristiche riguardanti le risorse che operano nel sistema. Questa possibilità è molto interessante in quanto può essere utilizzata a supporto degli analisti per quanto riguarda la fase di definizione delle specifiche del processo, ma attualmente presenta delle criticità legata allo stato dei sistemi informativi utilizzati oggi per la realizzazione dei log:

- ad oggi tutti i sistemi informativi sanitari tengono conto del tipo e della durata di un'attività, la maggior parte di tali sistemi tiene conto anche delle risorse che

esegue una determinata attività, pochissimi sistemi sono in grado di dare informazioni puntuali circa i tempi esatti di lavoro dei singoli operatori all'interno di una specifica attività e di dare informazioni circa gli spostamenti delle risorse istante per istante all'interno di una struttura.

Attraverso l'utilizzo di Prom6 è possibile ottenere una serie di informazioni aggiuntive rispetto ai processi, ma se tali informazioni non sono verificate e verificabili, necessitano assolutamente di un controllo, di una verifica e un'analisi; si rende necessaria quindi la parte di raccolta informazioni mediante interviste ed osservazione diretta che non viene a costituire solo un passaggio nella fase di validazione del modello creato ma continua ad essere un elemento imprescindibile per la caratterizzazione del funzionamento del modello, nonostante l'utilizzo delle tecniche di Process Mining.

È auspicabile che futuri sviluppi dei sistemi informativi sanitari permettano di sfruttare appieno le potenzialità offerte da queste tecniche permettendo di ottenere dei modelli di simulazione il cui punto di partenza sia il modello reale non solo nella struttura, come ad oggi è possibile fare come descritto precedentemente, ma anche nei comportamenti; un modello di simulazione siffatto è la base ideale per analisi "What-If" precise ed accurate e con un forte carattere predittivo.

6. CONCLUSIONI

In questo lavoro, partendo dalla modellazione dei processi basata sull'osservazione diretta e utilizzando linguaggi procedurali, come le Reti di Petri o il linguaggio BPMN, si è studiata l'applicabilità nell'ambiente sanitario italiano, delle tecniche di simulazione, in particolare dei modelli di simulazione ad eventi discreti, come strumento operativo per l'attuazione delle metodiche del Business Process Management (BPM) e del Business Process Re-engineering (BPR).

La tecnica della Simulazione ad Eventi Discreti (DES) è stata implementata mediante l'utilizzo di un software commerciale denominato Simul8, con questo software sono stati eseguiti vari studi che sono serviti a dimostrare, così come descritto nel dettaglio nei risultati dei casi studio nel capitolo quattro, che l'adozione combinata della tecnica DES e delle metodologie di BPM/BPR, permette sia un'analisi quantitativa dei processi analizzati durante il loro normale funzionamento, sia l'analisi delle possibili ricadute in termini di costi, efficienza ed efficacia dei processi, al variare delle condizioni operative.

La metodologia adottata, descritta nel capitolo tre, è basata su due tipi di analisi:

- "As-Is";
- "What-If".

Le prime, "As-Is", si basano sull'analisi dei sistemi nel loro stato attuale, quelle "What-If" invece, si basano sull'analisi delle conseguenze che si generano sul sistema a seguito dell'adozione di nuove soluzioni organizzative/operative/gestionali/funzionali.

Per le analisi, si utilizzano degli indicatori, chiamati KPI, che forniscono informazioni sullo stato di funzionamento del sistema sia in condizioni normali di funzionamento che al variare delle condizioni operative.

Lo studio, grazie all'impiego delle tecniche di BPM/BPR ha permesso di investigare aspetti raramente analizzati prima d'ora nell'ambiente sanitario, come ad esempio:

- Percentuali di lavoro delle risorse;
- Costi puntuali delle attività e delle risorse;
- Informazioni circa gli eventuali punti d'inefficienza dei flussi lavorativi.

Nel capitolo quattro, sono illustrati tre casi di studio portati avanti durante lo studio, che mostrano sia le possibilità d'impiego della metodologia descritta sia i possibili vantaggi derivanti dal suo utilizzo.

Attraverso il primo ed il secondo studio, uno portato avanti in un Centro di Cura delle Patologie Ipertensive di un Policlinico Universitario, un altro in un Laboratorio di Analisi di un Presidio Ospedaliero, sono stati analizzati i processi sanitari con lo scopo di individuare soluzioni operative/organizzative/gestionali con le quali migliorare i processi stessi, massimizzando le performance (in termini di efficienza ed efficacia) e contenendo i costi (in modo da rispondere ai criteri di economicità tipici del contesto sanitario pubblico).

In questi due studi si è potuto dimostrare, in modo quantitativo, come un potenziamento delle strutture degli ambulatori ed una riorganizzazione della dotazione di personale e dei turni di lavoro in base ai carichi di lavoro reali, e non secondo logiche fisse, si traduca in una riduzione sia dei costi delle prestazioni che dei costi totali della struttura. I KPI considerati per questi studi sono relativi a:

- Numero di prestazioni eseguite, suddivise per tipo;
- Costo delle prestazioni;
- Tempi impiegati dal personale per l'esecuzione delle prestazioni;
- Percentuali di utilizzo delle risorse impiegate.

Questi due studi sono stati eseguiti con il preciso scopo di analizzare la condizione di funzionamento normale, in altre parole fare un'analisi "As-Is" attraverso lo studio dei KPI scelti, e ipotizzare scenari alternativi di funzionamento, attraverso le analisi "What-If", che risolvessero le condizioni d'inefficienza individuate durante l'analisi "As-Is".

L'utilizzo della DES ha permesso di valutare, ex-ante, in modo quantitativo, una serie di ipotesi "What-If" pur senza disporre di dati di funzionamento quantitativi provenienti dal sistema informativo, normalmente non disponibili, ma attraverso una analisi basata su interviste del personale; questa possibilità di analisi rappresenta di per se, un elemento fortemente innovativo in un contesto complesso e dinamico come quello sanitario.

Il terzo studio presentato è invece incentrato sull'analisi dei processi, di tipo non medico ma infermieristico/assistenziale, caratteristici di un Reparto di Chirurgia; questo studio è stato portato avanti con un duplice scopo:

- Fornire al management uno strumento di misurazione del sistema tale da fornire informazioni sul suo funzionamento nonché prevederne il comportamento a seguito di variazioni dello status corrente;
- Migliorare il grado di conoscenza che gli operatori hanno del sistema reale in modo migliorare la comprensione delle dinamiche che sottendono il suo funzionamento.

I risultati ottenuti a seguito di questo lavoro hanno mostrato che, l'utilizzo combinato della DES e delle tecniche di BPM/BPR, può permettere di:

- Valutare le conformità di comportamento di un sistema rispetto alle norme di riferimento e, a seguito di evidenze troppo difformi dalle suddette, permette di capire su quali risorse o attività intervenire, al fine di conformarsi ad esse;
- Accrescere la conoscenza del sistema, anche in una logica di formazione continua, consentendo di analizzare, in modo sistemico la propria organizzazione di lavoro, individuandone punti di forza e di debolezza.

Come detto nel capitolo tre, grande attenzione deve essere posta in generale nella validazione di tali modelli quale condizione necessaria per garantire la correttezza delle successive analisi.

A tal fine nella parte finale dello studio si è analizzato l'impiego delle tecniche di Process&Data Mining come un possibile strumento per la costruzione dei modelli "As-Is" e la verifica e validazione dei modelli di simulazione creati.

Prospettive di ricerca future dovrebbero focalizzarsi sia sull'applicazione delle tecniche di analisi di processo nei diversi ambiti del settore sanitario, in particolare focalizzando l'attenzione sull'integrazione tra le tecniche di Process&Data Mining ed i Sistemi di Simulazione ad Eventi Discreti, ma anche interessarsi agli aspetti inerenti la struttura dei sistemi informativi ospedalieri in quanto tali, cercando di individuare soluzioni

architetture integrate che consentano un miglioramento sia qualitativo che quantitativo dei dati e delle informazioni raccolte.

BIBLIOGRAFIA

1. R. Giorgetti, "Legislazione e organizzazione del Servizio Sanitario Nazionale", Maggioli Editore, 2010
2. E. Pessina, "Rapporto Oasi 2003. L'aziendalizzazione della Sanità in Italia", 2003
3. J. Healy, "Hospitals in a Changing Europe", European Observatory on Health Care Systems, 2002
4. S. H. Jacobson, S. N. Hall, J. R. Swisher, DISCRETE-EVENT SIMULATION OF HEALTH CARE SYSTEMS, International Series in Operations Research & Management Science Volume 91, pp 211-252, 2006
5. M. Weske, "Business Process Management - Concepts, Languages, Architectures", Springer Berlin Heidelberg New York, ISBN 978-3-540-73521-2, 1998
6. D. Elzinga, "Business process management: survey and methodology", Engineering Management, IEEE Transactions, pp. 119-128, 1995
7. M. Weske, W. van der Aalst e H. Verbeek, "Advances in business process management", Data & Knowledge Engineering, vol. 50, n. 1, pp. 1-8, 2004
8. J. Hill, "Gartner's position on business process management", Gartner Research, 2006
9. R. Mans, "Workflow Support in the Healthcare Domain", Eindhoven University of Technology Library, 2011
10. G. Turchetti, "Health Technology Assessment", Engineering in Medicine and Biology Magazine, 2010
11. D. Brown, "Horizon Scanning and the business environment - the implications for risk management", BT Technology Journal, 25(1), January 2007
12. Turban E., Aronson J., Sharda R. e Delen D., Decision Support and Business Intelligence Systems, Pearson, 2010, Davenport, T.H., Harris J.G., Morison R., Analytics at Work, Harvard Business School Press, Cambridge, 2010
13. M. Helfert, "Preview of frameworks and an approach for healthcare process development" Information Management in Modern Enterprise: Issues and Solutions, pp. 371-378, 2005
14. Torri A., Pepino A., "Use of new management techniques in the Italian Health care System", Scholars Journal of Engineering and Technology, 1(4):195-197, 2013

15. Tähtikäpää J., "Increasing Role of Information Systems in Public Health Care – Challenge to the Management", Proceedings of the 37th Hawaii International Conference on System Sciences, 2004
16. W.T. Adams, "Computer Imaging and Workflow Systems in the Business Office" Healthcare Financial Management, 1999
17. James Lyle Peterson, Petri Net Theory and the Modeling of Systems, Prentice Hall, ISBN 0-13-661983-5
18. www.woped.org ultimo accesso 20/02/2015
19. A. Pepino, M. Rovani, A. Torri e M. Sansone, "Supply Chain for Regional Centralized Purchasing: An Application Model", Intelligent Information Management, 2012
20. A. Torri, M. Rovani e A. Pepino, "Healthcare Systems Analysis through the Workflow Management approach. A case study: Hypertension Center" in Data and Knowledge for Medical Decision Support, Praga, 2013
21. P. Chemweno, V. Thijs, L. Pintelon, A. Van Horenbeek, "Discrete event simulation case study: Diagnostic path for stroke patients in a stroke unit", Simulation Modelling Practice and Theory, November 2014, Vol. 48, pp. 45-57, <http://dx.doi:10.1016/j.simpat.2014.07.006>, 2014
22. B. Kim, Y. Elstein, B. Shiner, R. Konrad, A. S. Pomerantz, B. V. Watts, "Use of discrete event simulation to improve a mental health clinic", General Hospital Psychiatry, 35 (6) , pp. 668-670, <http://dx.doi.org/10.1016/j.genhosppsy.2013.06.004>, 2013
23. www.simul8.com, ultimo accesso 20/02/2015
24. M. Owen, R. Jog, "BPMN and Business Process Management Introduction to the New Business Process Modeling Standard", Popkin Software, 2003
25. M. Weske, "Business Process Management - Concepts, Languages, Architectures", Springer Berlin Heidelberg New York, ISBN 978-3-540-73521-2, 1998
26. <http://www.treccani.it/enciclopedia/sistema>, ultimo accesso 20/02/2015
27. Berbaridi g, Biazzo S., "Analisi rappresentazione dei processi aziendali", Sviluppo e organizzazione n°156, 1996
28. D. Elzinga, "Business process management: survey and methodology", Engineering Management, IEEE Transactions, pp. 119-128, 1995
29. W. van der Aalst, "Modern Business Process Automation, Springer, 2010

30. P. Hung e K. Kamalakar, "A secure workflow model", Proceedings of the Australasian information security workshop conference on ACSW frontiers. Australian Computer Society., 2003
31. W. van der Aalst, "Process mining: discovering and improving Spaghetti and Lasagna processes", Computational Intelligence and Data Mining (CIDM) IEEE, 2011
32. W. van der Aalst, Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Process, Springer, 2011
33. M. Barnett, "Modeling & Simulation in Business Process Management", in BP Trends Newsletter, White Papers & Technical Briefs, 2003
34. V. Grover, S. Jeong, W. Kettinger e J. Teng, "The implementation of business process reengineering", Journal of Management Information Systems, vol. 12, n. 1, pp. 109-144, 1995
35. D. Hollingsworth e U. Hampshire, "Workflow management coalition the workflow reference model", Workflow Management Coalition, vol. 68, 1993
36. J. Becker, M. Muehlen e M. Gille, "Workflow application architectures: classification and characteristics of workflow-based information systems", in Workflow handbook, 2002
37. M. Barnett, "Modeling & simulation in business process management", in BP Trends Newsletter, White Papers & Technical Briefs, 2003
38. S. Brailsford, N. Hilton, "A Comparison of Discrete Event Simulation and System Dynamics for Modelling Healthcare Systems", School of Management, University of Southampton, UK, 2001
39. T.E. Day, N. Ravi, H. Xian, A. Brugh, "Sensitivity of diabetic retinopathy associated vision loss to screening interval in an agent-based/discrete event simulation model", Computers in Biology and Medicine, 47, pp. 7–12, 2014
40. J. Karnon, J. Stahl, A. Brennan, J. Jaime Caro, J. Mar, J. Möller, on Behalf of the ISPOR-SMDM Modeling Good Research Practices Task Force, "Modeling using Discrete Event Simulation: A Report of the ISPOR-SMDM Modeling Good Research Practices Task Force-4", Value in Health, 15, pp. 821-827, 2012
41. C. Hein, J. Russo, M. Stebnisky, A. Rubin, "Discrete event simulator benchmark design", published in: Proceedings of the 2013 Spring Simulation Multiconference Poster Session, Article n°4, San Diego, CA, 2013

42. [M. Chinosi, A. Trombetta, "BPMN: An introduction to the standard", Computer Standards & Interfaces 34, 124–134, 2012, <http://dx.doi:10.1016/j.csi.2011.06>
43. A.M. Law, W.D. Kelton, "Simulation Modeling and Analysis", 2000
44. J. Banks, J. S. Carson II, B. L. Nelson, and D. M. Nicol, Discrete-Event System Simulation, 3rd ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 2001
45. J.P.C. Kleijnen, "Verification and validation of simulation models", European Journal of Operational Research, 82, pp. 145-162, 1995
46. Giampaoli S, Vanuzzo D. "Il Progetto CUORE – Studi Longitudinali. In: Atlante italiano delle malattie cardiovascolari. II Edizione 2004. Italian Heart J 2004;5 (Suppl 3):94S-101S
47. Linee di indirizzo regionali in materia di determinazione delle dotazioni organiche delle aziende usl – Decreto del Commissario ad Acta Regione Abruzzo n.49/2012 del 08.10.2012
48. Ministero del Lavoro, della Salute e delle Politiche Sociali Dipartimento della Qualità Direzione Generale della Programmazione Sanitaria, dei Livelli Essenziali di Assistenza e dei Principi Etici di Sistema, Classificazione delle Malattie, dei Traumatismi, degli Interventi Chirurgici e delle Procedure Diagnostiche e Terapeutiche Versione Italiana della ICD-9-CM, "International Classification of Diseases ^ 9th revision ^ Clinical Modification" 2007, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato
49. Linee di guida n. 1/95 in Gazzetta ufficiale 29 giugno 1995, n.150 - Dipartimento della Programmazione, Ministero della Salute
50. Manuale di autorizzazione – Definizione del fabbisogno infermieristico delle Risorse Infermieristiche, Fisioterapisti, del Personale di Supporto e del Personale Sanitario di Riabilitazione (All.7), Approvazione manuali di autorizzazione ed accreditamento, nonché delle relative procedure delle strutture sanitarie e socio-sanitarie, Deliberazione della Giunta Regionale Abruzzo 01.07.2008, n.591/P
51. www.fluxicon.com, ultimo accesso 20/02/2015
52. www.processmining.org, ultimo accesso 20/02/2015