

# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria Biomedica

Tesi di Laurea Magistrale

Sviluppo di modelli di simulazione per la valutazione del  
carico di lavoro di un centro Malattie Trombotiche ed  
Emorragiche



**Relatore:**

Gabriella Balestra

**Co-Relatore:**

Samanta Rosati

Noemi Giordano

**Candidato:**

Stefano Grasso

Anno Accademico 2019/2020



# Indice

<b>Elenco delle figure</b>	4
<b>Elenco delle tabelle</b>	7
<b>1 Introduzione, Motivazioni e Goal</b>	9
1.1 Introduzione . . . . .	9
1.2 Background del lavoro . . . . .	12
1.2.1 Simulazione in ambito sanitario . . . . .	12
1.2.2 DES: Discrete-Event Simulation . . . . .	14
1.2.3 SD: System Dynamics . . . . .	14
1.2.4 ABS: Agent-Based Simulation . . . . .	15
1.2.5 Hybrid Simulation . . . . .	16
1.3 Scopo del Lavoro . . . . .	19
<b>2 Materiali e Metodi</b>	20
2.1 NetLogo . . . . .	20
2.1.1 Interfaccia . . . . .	20
2.1.2 Informazioni . . . . .	21
2.1.3 Codice . . . . .	22
2.2 Analisi del Contesto . . . . .	22
2.3 Punto di partenza . . . . .	23
2.3.1 Raccolta dei dati . . . . .	23
2.3.2 Costruzione del modello di simulazione . . . . .	27
2.4 Sviluppo del lavoro . . . . .	29
2.4.1 Previsione esuberi nei pazienti ambulatoriali . . . . .	29
2.4.2 Espansione dataset iniziale . . . . .	30
2.4.3 Valutazione pazienti ambulatoriali in esubero . . . . .	31
2.4.4 Definizione del nuovo scenario: Terzo Medico . . . . .	33
2.4.5 Modifica agenda settimanale . . . . .	36
2.4.6 Costruzione del nuovo scenario: Terzo Medico . . . . .	37
<b>3 Risultati e Discussione</b>	39
3.1 Stima attività ambulatoriale del centro . . . . .	39
3.2 Stima durata media giornaliera di una singola visita ambulatoriale . . . . .	39
3.2.1 Scenario 3: utilizzo secondo ambulatorio attivo e aggiunta del terzo medico . . . . .	41
<b>4 Conclusioni</b>	46



# Elenco delle figure

1.1	Processo di analisi e modifica di uno scenario reale mediante la costruzione di un modello di simulazione[1] . . . . .	10
1.2	Principali fasi di sviluppo di un generico modello di simulazione [2]. . . . .	10
1.3	Creazione di un modello [3] . . . . .	11
1.4	Andamento pubblicazioni in SCOPUS che rispondono alle keywords “healthcare simulation” e “simulation-based medical education” dal 1994 al 2017[7]. . . . .	12
1.5	Ambiti di interesse per Healthcare Simulation [8]. . . . .	13
1.6	Principali tecniche di simulazione per healthcare simulation [8]. . . . .	13
1.7	Confronto tra Simulazione tradizionale (DES) e simulazione ABS per simulare pazienti in sala d’attesa[16]. . . . .	17
1.8	Due esempi di modelli di simulazione ibrida. [17] . . . . .	17
2.1	Esempio di interfaccia di un modello NetLogo . . . . .	21
2.2	Sezione contenente il codice Netlogo. . . . .	21
2.3	Strumenti Process Modeling utilizzati per descrivere le attività del centro: Synopsis Diagram (A) e Swim-Lane activity diagram (B) che descrivono il processo di assistenza ambulatoriale [23]. . . . .	23
2.4	Rappresentazione attività giornaliere del centro espresse in percentuale giornaliera (a) e in minuti (b) [23]. . . . .	24
2.5	Pianta Ospedale Molinette . . . . .	27
2.6	Flow-chart per stimare giornate con esuberanti ambulatoriali nel centro. . . . .	29
2.7	Nuove agende settimanali costruite per tre specialisti . . . . .	37
2.8	Schermate modello: a) medici in visita ambulatoriali nelle due sale adibite; b) medico in consulenza interna in un generico reparto dell’ospedale. . . . .	38
2.9	Schermate modello: a)medico impegnato in un’interruzione telefonica; b) medici occupati nella costruzione dei protocolli clinici; c) medico 1 che svolge attività amministrative e medico 2 definisce piani terapeutici. . . . .	38
3.1	Confronto Worktime totale medio giornaliero ricavato dai dati acquisiti e dalla simulazione del 3 scenario. . . . .	42
3.2	Carico medio giornaliero al variare di giorno settimanali ricavato dai dati delle Molinette e stimato mediante il modello. . . . .	43
3.3	a) Carico medio giornaliero al variare di giorno settimanali del primo medico; b) Carico medio giornaliero al variare di giorno settimanali del secondo medico. . . . .	44

3.4	Carico medio giornaliero al variare di giorno settimanali del terzo medico stimato mediante il modello. . . . .	45
3.5	Carico medio giornaliero al variare di giorno settimanali del terzo medico stimato mediante il modello. . . . .	45



# Elenco delle tabelle

2.1	Dati medi relativi alle attività del centro. . . . .	26
2.2	Valutazione del numero di pazienti ambulatoriali in esubero per il Medico 1. . . . .	32
2.3	Valutazione del numero di pazienti ambulatoriali in esubero per il Medico 2. . . . .	33
2.4	Durata media attività ambulatoriale del primo medico eliminando pazienti ambulatoriali in esubero. . . . .	33
2.5	Durata media attività ambulatoriale del secondo medico eliminando pazienti ambulatoriali in esubero. . . . .	34
2.6	Durata media attività ambulatoriale del terzo medico: gli esuberanti individuati per i primi due medici sono considerati pazienti ambulatoriali del terzo medico. . . . .	34
2.7	Calcolo del numero di pazienti ambulatoriali da assegnare al terzo medico. . . . .	35
3.1	Risultato delle 100 settimane simulate per predire durata complessiva attività ambulatoriale del centro: le colonne indicano rispettivamente la settimana simulata, il numero di pazienti ambulatoriali totali attesi, la durata complessiva delle visite ambulatoriali (ore) e il numero di slot corrispondenti a questa durata (uno slot = 4 ore). . . . .	40
3.2	durata media singola visita ambulatoriale nelle 10 settimane osservate	40
3.3	Dati medi visite ambulatoriali mediati per ogni giorno della settimana: la durata di una singola visita ambulatoriale assume in media valori differenti in base al giorno. Le durate sono espresse in minuti. . . . .	41
3.4	Durata media di una singola visita ambulatoriale giornaliera e massimo numero di pazienti visitabili giornalmente senza che vi siano esuberanti . . . . .	41
3.5	Carico di lavoro giornaliero medio dei primi due medici del centro, ricavato nei vari scenari di simulazione del modello creato. . . . .	42



# Capitolo 1

## Introduzione, Motivazioni e Goal

### 1.1 Introduzione

Ogni organizzazione è basata su variabili che ne determinano la stabilità e la funzionalità. Nel caso di sistemi sanitari il modello organizzativo impatta su variabili umane (i medici), strutturali (il reparto e gli ambulatori), servizi (routines di reparto, consulenze telefoniche, visite ambulatoriali, ecc.). Ogni sistema è dinamico; col tempo esso si modifica per effetto dei naturali cambiamenti delle variabili che lo compongono. Nel caso del servizio sanitario si modifica, ad esempio, per la sostituzione di medici, l'ammmodernamento o l'invecchiamento delle strutture, l'incremento o il decremento del servizio erogato.

Posti davanti ad un problema reale da risolvere, mentre la sperimentazione diretta può risultare talvolta rischiosa, costosa o impossibile da condurre, mediante un approccio basato sulla simulazione è possibile riprodurre una vasta gamma di soluzioni tra cui selezionare la più adatta allo specifico problema; il tutto con un costo relativamente molto basso e con un'elevata velocità di realizzazione e riproduzione. Queste caratteristiche fanno sì che la simulazione sia uno degli strumenti più validi da utilizzare per affrontare, comprendere ed eventualmente ottimizzare un problema reale e ben definito; attraverso la simulazione è possibile valutare scelte progettuali diverse e modellare sistemi anche di notevole complessità studiandone il comportamento e l'evoluzione nel tempo. La Fig. 1.1 mostra l'iter logico osservato durante lo sviluppo di un modello; partendo dall'analisi della situazione reale, vengono esaminati tutti gli elementi interni al sistema e, posto un obiettivo da raggiungere che implica una o più variazioni rispetto alla situazione reale, vengono individuati gli elementi principali e le loro relazioni che risultano più rilevanti rispetto all'obiettivo posto [1]. A questo punto si costruisce un modello formale che permetta di riprodurre (simulare) il sistema individuato, allo scopo di comprenderne il comportamento e di individuare le decisioni da prendere a riguardo.

La Fig. 1.2 evidenzia le 4 principali fasi attraverso cui passa lo sviluppo di un modello di simulazione ibrida [2]:

1. inizialmente, come in tutti gli approcci, lo studio di simulazione inizia con l'analisi e la comprensione del problema reale che deve essere trattato;
2. mediante la collaborazione con gli esperti del sistema reale da modellizzare, viene sviluppato e validato un modello concettuale del problema;

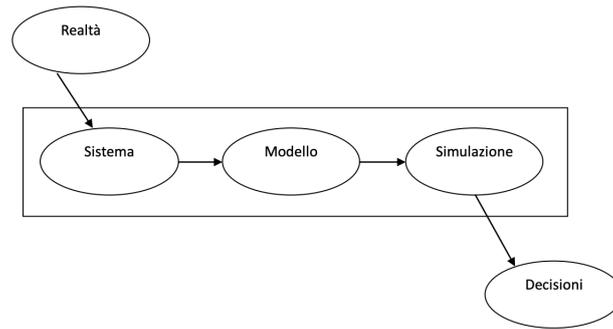


Figura 1.1: Processo di analisi e modifica di uno scenario reale mediante la costruzione di un modello di simulazione[1]

3. il modello concettuale ideato viene tradotto in un modello computazionale, realizzato nell'ambiente di sviluppo più consono (esistono diversi software con cui è possibile ottenere modelli di simulazione e combinazioni di essi, la scelta è strettamente dipendente dal sistema che si vuole ricreare);
4. fase finale di verifica in cui il modello creato viene validato in modo tale che risulti concorde con il modello concettuale ideato inizialmente; successivamente esso viene testato con una serie di scenari sperimentali per verificare che i dati da esso forniti sia concordi con quelli utilizzati per la sua costruzione e, per tanto, utili come mezzo per comprendere e migliorare il processo reale in analisi.

Naturalmente, come mostra chiaramente la Fig. 1.2, questo non è un processo lineare, ma un processo ciclico in cui le varie fasi si susseguono fino ad ottenere un modello finale quanto più completo e adatto possibile.

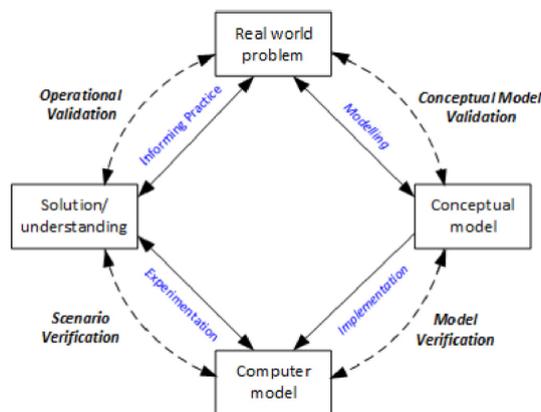


Figura 1.2: Principali fasi di sviluppo di un generico modello di simulazione [2].

Il punto focale di ogni approccio che tenta di simulare un sistema è la definizione del modello, l'elemento centrale nella simulazione, cioè una struttura in grado di adattarsi al sistema analizzato, capace di descriverne il comportamento che evolve nel tempo. La Fig. 1.3 mostra un esempio di come, dato un problema reale, la fase di modellizzazione permette la creazione di un "modello del problema" caratterizzato da una complessità ridotta. Questo deriva dal fatto che il processo stesso di modellizzazione generalmente tende a semplificare il problema. Sarà poi compito dello

sviluppatore verificare attraverso la fase di validazione se il modello rappresenta la realtà in maniera esaustiva, in riferimento al problema in essere[3].

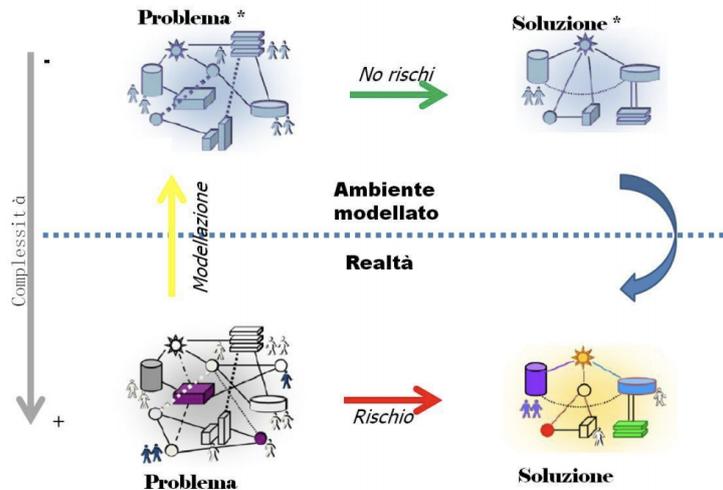


Figura 1.3: Creazione di un modello [3]

I principali elementi che troviamo all'interno di un modello per la simulazione sono [4]:

1. Variabili di stato:  
insieme delle variabili che descrivono il sistema per ogni istante di tempo.
2. Eventi:  
un evento è un qualunque accadimento che provoca una modifica nel valore di almeno una delle variabili di stato.
3. Entità e attributi:  
le entità (altrimenti note come attori) sono gli elementi del sistema che devono essere definiti in quanto di nostro interesse; esse possono essere caratterizzate da attributi che esprimono il valore di un dato associato ad una singola entità; un raggruppamento di entità sulla base di un attributo genera una classe.
4. Risorse:  
elementi del sistema che forniscono un servizio all'entità.
5. Attività e Ritardi:  
un'attività e un'operazione la cui durata è nota a priori prima della sua esecuzione; un ritardo è un periodo di tempo indefinito determinato da una condizione del sistema.

Tali elementi non sono sempre necessariamente tutti presenti all'interno di un modello, ma la loro presenza o meno è legata alla complessità del sistema da riprodurre, alla tipologia del modello e soprattutto alla tipologia di simulazione scelta.

Ogni modello deve essere sufficientemente dettagliato, in modo tale che la simulazione sia in grado di trarre conclusioni valide riguardo al problema. Ciononostante, operando attentamente nella fase di costruzione del modello, è possibile ottenere modelli in grado di simulare sistemi o processi reali diversi e più o meno complessi.

Oggi giorno quella di utilizzare modelli basati su simulazioni è una pratica molto comune in numerosi campi di ricerca o di applicazione industriale, poiché, mediante un modello di simulazione opportunamente costruito, è possibile approssimare il comportamento di sistemi e processi al fine di migliorarne l'efficienza o per progettarne di nuovi[5].

## 1.2 Background del lavoro

### 1.2.1 Simulazione in ambito sanitario

Con l'attuale progresso tecnologico, l'uso della simulazione e dei modelli in grado di riprodurre sistemi e problemi reali è divenuto quasi uno standard da utilizzare in una grande varietà di settori come l'e-commerce, la logistica, la gestione della catena di approvvigionamento, le telecomunicazioni, la produzione e la distribuzione in ottica industriale; nel corso degli ultimi 20 anni, uno dei settori che maggiormente si è interessato all'utilizzo delle simulazioni è il settore sanitario.

A causa della complessità del sistema sanitario, l'utilizzo di modelli per la simulazione ha assunto notevole rilievo per trattare problemi ad esso collegati. Tale tesi viene avvalorata dai dati forniti dalla letteratura: difatti le pubblicazioni relative all'applicazione della simulazione all'assistenza sanitaria sono costantemente aumentate nel corso degli ultimi anni, trovando spazio in varie riviste che appartengono a diverse categorie di argomenti, tra cui ricerca operativa, economia della salute, formazione del personale sanitario, farmacocinetica, ecc[6].

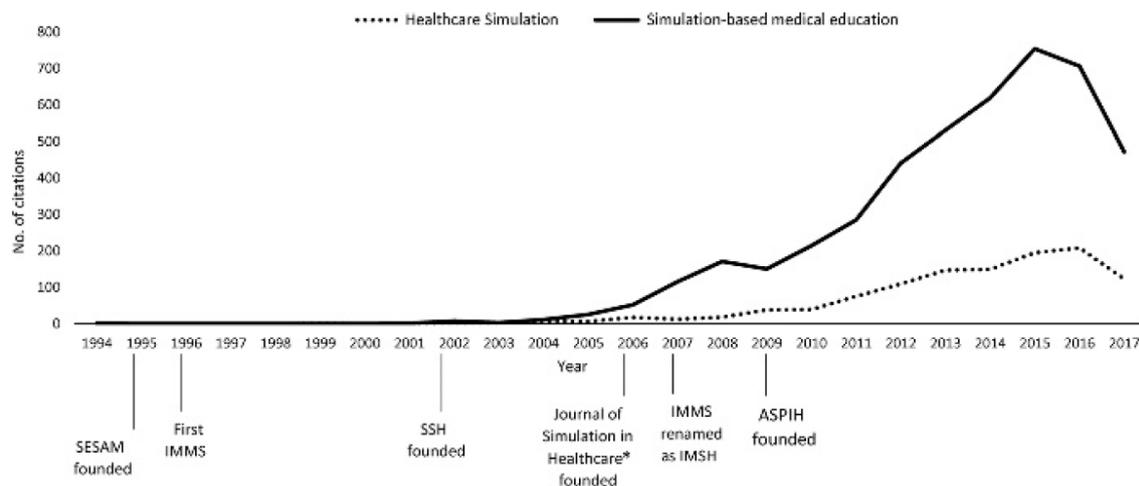


Figura 1.4: Andamento pubblicazioni in SCOPUS che rispondono alle keywords “healthcare simulation” e “simulation-based medical education” dal 1994 al 2017[7].

L'analisi della letteratura inerente alla simulazione in ambito sanitario ha evidenziato un numero elevato di review il cui obiettivo è indagare quanto l'uso della simulazione in tale ambito sia divenuto un approccio valido e affermato; sono stati individuati numerosi studi che variano per ambiti, metodologie e tipologie di modelli costruiti.

Per comprendere qual è lo stato attuale della ricerca in materia di simulazione, in particolare in ambito sanitario, è stata effettuata una ricerca in letteratura

degli articoli che catalogano e classificano le pubblicazioni che trattano di simulazione sanitaria; sono state individuate numerose review bibliografiche in cui è stata analizzata la letteratura proposta in materia, dagli inizi degli anni 2000 ad oggi e che permettono di delineare quelli che sono gli obiettivi, gli ambiti, le tecniche e i software utilizzati. L' umbrella review condotta da Salleh et al. [8] ha permesso di individuare i principali ambiti del settore sanitario in cui è stato utilizzato un approccio basato su modelli di simulazione, come possiamo vedere in Fig. 1.5.

No.	Classifications of study	No. of studies identified														
		[7]	[8]	[12]	[14]	[16, 18]	[20]	[22]	[25]	[27]	[28]	[33]	[34]	[36]	[37]	[39]
		(n=93)	(n=182)	(n=463)	(n=168)	(n=201)	(n=75)	(n=70)	(n=98)	(n=142)	(n=74)	(n=117)	(n=6)	(n=97)	(n=106)	(n=232)
1	Healthcare operations and system design	29	94	16	88	17	48	15	13	20	0	3	3	9	101	109
2	Medical decision-making applications	16	81	1	41	82	1	34	12	23	0	5	3	2	0	90
3	Infectious disease modelling	5	7	0	14	0	0	0	1	0	13	5	0	10	0	0
4	Miscellaneous studies	43	0	0	13	102	26	5	2	25	7	0	0	0	5	33
Total (X)		93	182	17	156	201	75	54	28	68	20	13	6	21	106	232

\*n= Total number of studies reviewed; X= Total number of studies/results able to perform data/information extraction into categories via the reviewed articles

Figura 1.5: Ambiti di interesse per Healthcare Simulation [8].

Inoltre in tale review, è stato possibile individuare e distinguere le diverse tecniche utilizzate per la costruzione di tali modelli: sebbene infatti esistano molte possibili tecniche di simulazione, all'interno del settore sanitario, come si può vedere dalla Fig. 1.6, le più usate risultano la metodologia DES (Discrete Event Simulation), la ABS (Agent Based Simulation) e la SD (System-Dynamics Simulation); sono presenti anche modelli costruiti con l'approccio di simulazione basato su metodo Montecarlo ma gli articoli che presentano modelli costruiti con tale tecnica risultano più datati; inoltre un ulteriore approccio descritto è quello basato sulla Hybrid Simulation, in cui vengono utilizzate contemporaneamente due o più delle metodologie precedentemente citate per la costruzione di un modello di simulazione più accurato.

No.	Simulation techniques	No. of studies identified													
		[11]	[13]	[14]	[16, 18]	[17]	[22]	[27]	[34]	[35]	[36]	[37]	[39]	[41]	[42]
		(n=34)	(n=342)	(n=168)	(n=201)	(n=247)	(n=70)	(n=142)	(n=6)	(n=21)	(n=97)	(n=106)	(n=232)	(n=22)	(n=21)
1	Discrete-event simulation (DES)	26	37	118	40	29	18	31	-	12	-	101	136	19	19
2	Monte-carlo simulation (MCRLO)	2	24	15	142	8	11	16	-	1	-	-	46	-	-
3	System-dynamics simulation (SD)	3	6	23	17	-	1	4	6	-	-	-	39	2	2
4	Agent-based simulation (ABM)	-	-	-	2	-	-	-	-	-	29	5	11	-	-
5	Hybrid simulation model (e.g. DES+SD)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
6	Markov model	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Cohort simulation (CS)	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Total (X)		32	67	156	201	37	31	51	6	13	29	106	232	22	21

Figura 1.6: Principali tecniche di simulazione per healthcare simulation [8].

Esistono diversi approcci con cui è possibile costruire un modello per la simulazione; nel settore sanitario, la maggior parte dei modelli di simulazione sanitaria sono ottenuti mediante una di queste metodologie[9]:

1. Discrete-Event simulation;
2. System Dynamics;
3. Agent-based simulation;
4. Hybrid simulation.

### 1.2.2 DES: Discrete-Event Simulation

Nell'approccio alla simulazione ad eventi discreti (DES) il sistema in analisi viene rappresentato semplicemente attraverso una sequenza di operazioni, definiti eventi, che si verificano in momenti temporali precisi e segnano un progressivo cambiamento nello stato del sistema complessivo[9]. I modelli DES vengono comunemente utilizzati in ambito sanitario per il miglioramento delle prestazioni o per la valutazione delle scelte di progettazione che mirano a migliorare i flussi di pazienti, gestire la capacità dell'ospedale o della clinica, pianificare l'utilizzo il personale, analizzare le procedure di pianificazione, valutare l'utilizzo di servizi ausiliari e infrastrutture o valutare allocazione di nuove risorse [10]. I componenti principali di un modello DES sono gli eventi e le entità; un evento è un'azione che una volta verificatasi, cambia lo stato del sistema e quindi del modello stesso, mentre le entità sono gli attori che prendono parte agli eventi e che, migrando da uno stato all'altro, si muovono all'interno dell'sistema. Generalmente le entità comprendono le risorse, gli ambienti, i tassi di arrivo, i modelli di flusso e, soprattutto in ambito sanitario, i pazienti spesso modellati come entità indipendenti.

La simulazione a eventi discreti è un approccio in grado di generare modelli che risultano molto utili come strumento di valutazione poichè possono essere costruiti e personalizzati ad hoc per ottenere precise misure di performance, come ad esempio la portata dei pazienti, i tempi d'attesa o la percentuale di utilizzo delle risorse per una data struttura [9]. Si tratta di modelli relativamente facili da costruire e manipolare, ma comunque in grado di fornire metriche con cui è possibile indagare e studiare eventuali modifiche al modello, e quindi conseguentemente al sistema reale rappresentato.

### 1.2.3 SD: System Dynamics

Il System Dynamics è un approccio per la creazione di modelli di simulazione in grado di rappresentare le relazioni complesse e non lineari di un sistema, per poterne comprendere il comportamento nel tempo[9]. La principale caratteristica di tale metodologia è quella di consentire di simulare gli elementi del sistema e i loro collegamenti per capire come il sistema si comporterà in condizioni diverse[11]. L'approccio System Dynamics si articola in diverse fasi, mediante un continuo processo iterativo di formulazione di ipotesi, test e revisione dei modelli generati[12]:

- individuazione del problema da ottimizzare;

- definizione dinamica del problema, utilizzando dati reale laddove siano disponibili;
- comprensione, ovvero ricerca delle dinamiche comportamentali alla base del problema;
- individuare le variabili chiave essenziali per affrontare il problema e decidere un livello di aggregazione adeguato per esse in base allo scopo dello studio;
- formulare un modello comportamentale ampiamente esplicativo in grado di riprodurre, di per sé, il problema dinamico attingendo a tutte le prove rilevanti, compresi i dati qualitativi e quantitativi;
- testare la struttura e il comportamento del modello rispetto a tutte le prove pertinenti per approfondirne la comprensione e rafforzarne l'affidabilità e la capacità del modello di replicare i dati storici, garantire che il modello sia robusto in condizioni estreme, evidenziando la sensibilità dei risultati all'incertezza nelle ipotesi e le fonti di un eventuale comportamento inatteso del modello;
- documentare accuratamente il modello in modo da renderlo facilmente comprensibile e fruibile agli stakeholders;
- operare le modifiche suggerite dal modello costruito, collaborando con gli stakeholders.

I modelli SD adottano un approccio di simulazione a livello macro: il sistema da modellizzare viene suddiviso in scatole (Stocks) e flussi (flows): le sue evoluzioni vengono osservate come rafforzamenti o indebolimenti dei flussi, con l'eventuale comparsa di feedback interni, che provocano una modifica nello stato del sistema rappresentato dalle varie scatole. [13]. In ambito sanitario, i modelli basati su System Dynamics sono molto usati per la pianificazione strategica, come ad esempio la definizione delle linee di condotta comportamentali di prevenzione e intervento; ne è un esempio il modello costruito dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) per valutare le performance del sistema sanitario, in cui venivano modellizzate la catena di invecchiamento della popolazione e i medici, in termini di risorse e formazione, con cui è stato possibile effettuare un confronto tra le performance sanitarie delle varie nazioni della WHO, evidenziando i parametri socio-economici che hanno influenzato tali performance[14].

#### 1.2.4 ABS: Agent-Based Simulation

La nascita della simulazione Agent-Based è stata favorita dalla necessità di avere strumenti di simulazione in grado di catturare logiche comportamentali differenti rispetto a quelle modellate attraverso Discrete Event Simulation o System Dynamics. Questi ultimi, definiti modelli tradizionali, non sono capaci di modellare un sistema fatto da una popolazione di "attori" che interagiscono fra di loro e con l'ambiente esterno mediante la comunicazione. Lo scopo dei modelli Agent-Based è quello di capire il comportamento di un sistema complesso senza conoscere le leggi che lo regolano ma conoscendo e analizzando il comportamento dei singoli attori che ne

fanno parte. Per questo motivo, quello Agent-Based è un approccio alla simulazione di tipo bottom up: partendo dalla definizione degli agenti, cioè degli attori che prendono parte al processo che si vuole simulare, e dal loro comportamento descritto attraverso regole semplici, si ottiene una modellizzazione più dettagliata e flessibile del sistema, in grado di rappresentare anche le dinamiche reali più complesse. Rispetto alle metodologie di simulazione DES e SD, quella Agent-Based risulta molto più utile per modellizzare problemi in cui risultano molto significative le interazioni a livello comportamentale e individuale e, più in generale, le specifiche caratteristiche degli attori in gioco [9]. Tale risultato è perseguibile proprio grazie al nucleo centrale attorno a cui ruota la costruzione di un modello ABS, ovvero gli agenti. Gli agenti sono tutti gli individui (intesi come persone fisiche o non) che prendono parte al processo da simulare; per ognuno di essi, oltre al ruolo e alle azioni che eseguono, vengono inoltre definite le regole comportamentali, le capacità di prendere decisioni e le interazioni con altri agenti e con l'ambiente esterno. Ogni agente possiede quindi uno stato interno che, nel corso della simulazione, subirà delle modifiche per effetto delle sue interazioni; al termine l'evoluzione complessiva degli stati interni di ogni agente e delle loro interazioni provocherà una modifica nel trend comportamentale complessivo del sistema[13]. Nel contesto del settore sanitario, gli "agenti" possono essere entità umane come pazienti o clinici, entità biologiche come agenti patogeni, entità inanimate come stanze di trattamento e altre entità discrete. La modellazione Agent-Based risulta applicata in una vasta gamma di aree tematiche inerenti alle operazioni sanitarie, tra le principali ritroviamo l'analisi della diffusione di malattie infettive o la modellizzazione delle code di pazienti all'interno delle sale d'attesa delle varie strutture sanitarie[15]. La Fig. 1.7 mostra un esempio di come la metodologia di simulazione ABM risulti notevolmente più pratica ed efficace rispetto ai metodi di simulazione che gli autori del lavoro definiscono tradizionale, ovvero quella basata su metodologia DES[16].

### 1.2.5 Hybrid Simulation

La simulazione ibrida (definita come un approccio di modellizzazione che combina due o più dei seguenti metodi: simulazione a eventi discreti, System Dynamics e simulazione agent-based), ha registrato una crescita quasi esponenziale della popolarità negli ultimi due decenni[2]. La review condotta da Sally C. Brailsford et al. (2019)[2] ha analizzato la letteratura attuale contenente modelli di simulazione ibrida applicata nell'ambito del settore sanitario; essa ha evidenziato diverse possibili tecniche con cui vengono integrate e utilizzate assieme le 3 principali tecniche di simulazione descritte in precedenza (DES, ABS e SD). Un primo esempio è dato dalla combinazione gerarchica di 2 (o più) modelli, spesso DES e SD; tali modelli vengono generati autonomamente e in maniera distinta e la loro cooperazione verte soltanto nel passaggio di dati da uno all'altro: i modelli agiscono autonomamente ma in maniera sequenziale. Una configurazione alternativa individuata vede lo sviluppo di un modello, ad esempio DES, all'interno di un modello SD: poiché i modelli System Dynamics sono in grado di simulare un sistema a livello macro, in questo caso il modello DES viene utilizzato per modellizzare solo una parte del sistema complesso, interagendo di conseguenza con il primo modello in maniera dinamica dal suo interno. La Figura 1.8 mostra due esempi di simulazione ibrida: la prima immagine mostra un modello di simulazione ibrida di tipo gerarchico, in cui ogni

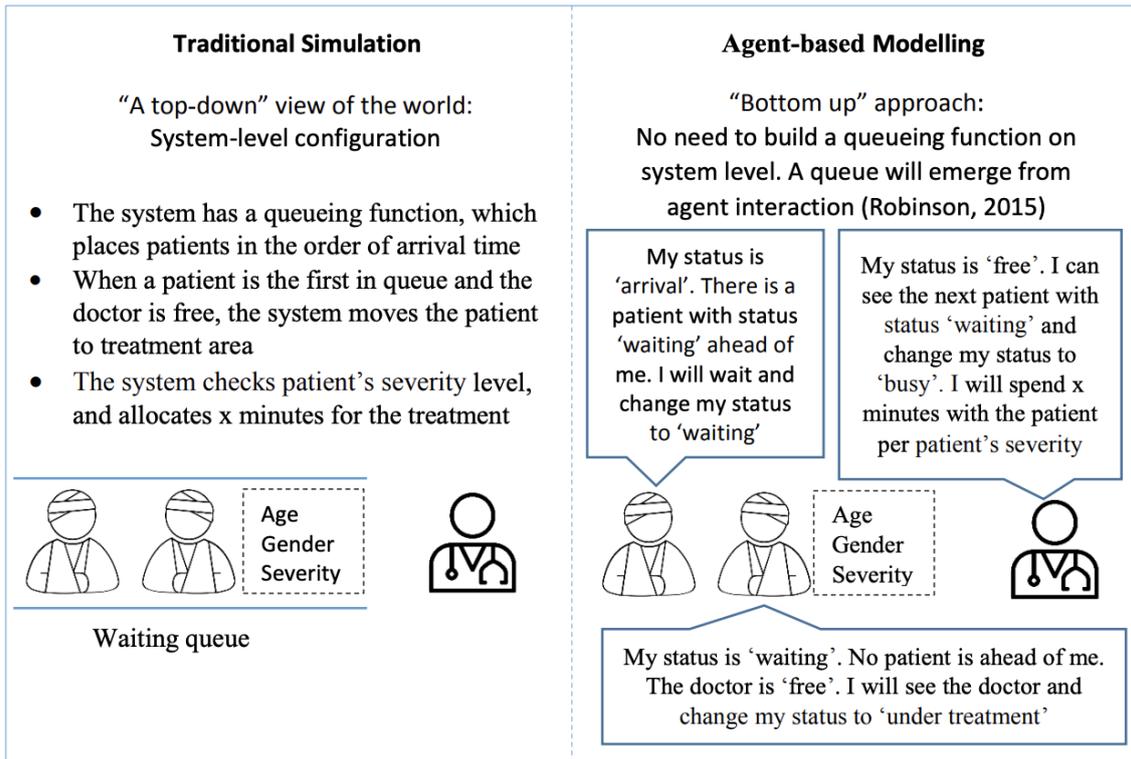


Figura 1.7: Confronto tra Simulazione tradizionale (DES) e simulazione ABS per simulare pazienti in sala d’attesa[16].

modulo può adottare un paradigma specifico (ad esempio il modulo 2 è un modello DES), mentre la seconda rappresenta un modello di simulazione ibrida con configurazione annidata, in cui vi è un modello SD complessivo, e al suo interno uno dei flussi è un intero modello DES[17].

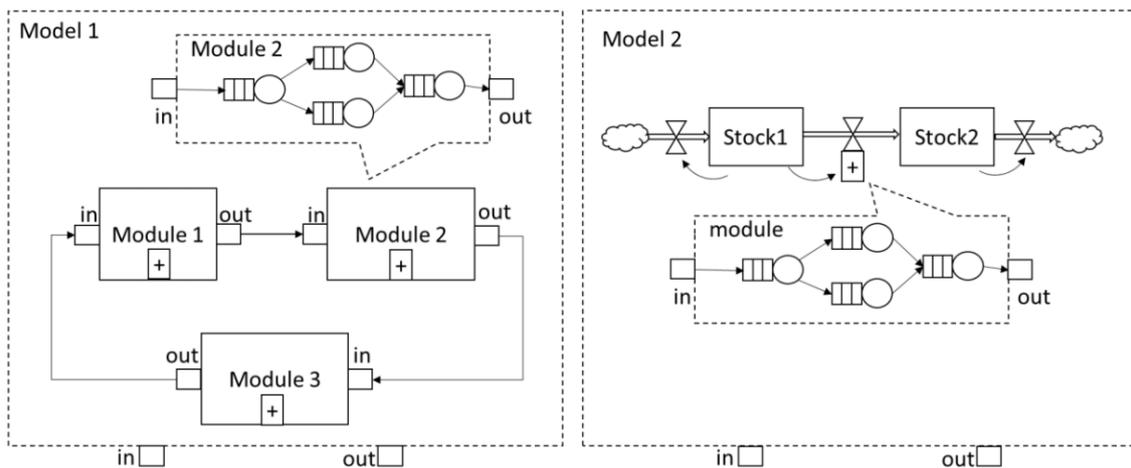


Figura 1.8: Due esempi di modelli di simulazione ibrida. [17]

Quella del settore sanitario risulta un’ area di applicazione particolarmente fruttuosa per l’utilizzo di modelli di simulazione ibrida: a causa della complessità, della variabilità e dell’elevato numero di interconnessioni presenti nel contesto dei sistemi sanitari, molti ricercatori hanno sostenuto la necessità di combinare approcci

di simulazione a livello Micro (ABS e DES), con approcci a livello Macro, come il System Dynamics[17]. Ad esempio [18] [19], per modellizzare un reparto ospedaliero d'emergenza, i.e. Pronto Soccorso, è impossibile utilizzare unicamente un modello SD in quanto esso non sarà mai in grado di tenere in considerazione le singole variazioni individuali che si verificano al suo interno, cosa che invece risulta molto più facilmente ottenibile mediante dei modelli DES o ABS grazie alla definizione di un insieme di agenti con specifiche caratteristiche o di una successione di eventi con tempistiche e attività ben delineate; talvolta però i problemi nella gestione di un reparto di Pronto Soccorso possono trovarsi nel sistema più ampio che racchiude il reparto stesso, ovvero l'azienda ospedaliera (ad esempio il funzionamento del servizio d'ambulanza, la disponibilità di letti, ecc). In questo caso i modelli precedentemente citati non riescono a tenere conto di tutti questi fattori, contrariamente a un modello di simulazione a livello macro, come quello di System Dynamics. Pertanto in alcuni casi solo l'integrazione di questi diversi livelli di astrazione porta ad ottenere modelli in grado di simulare al meglio tutte le possibili dinamiche che entrano in gioco in ambienti appartenenti all'ambiente sanitario.

### 1.3 Scopo del Lavoro

Oggigiorno all'interno del sistema sanitario, l'erogazione di servizi sanitari di alta qualità ai pazienti e i risultati clinici che ne derivano dipendono notevolmente dal carico di lavoro del personale clinico. Con il termine "carico di lavoro", si definisce "il costo in termini di tempo necessario a soddisfare i requisiti della missione per l'operatore umano" [20]; all'interno del settore sanitario, tale parametro è molto significativo in quanto a carichi di lavoro pesanti sono stati spesso associati a esiti clinici avversi con gravi conseguenze sui pazienti. Tali considerazioni sono valide per tutto il personale lavorativo all'interno dell'ambiente clinico: per quanto riguarda medici e infermieri, carichi di lavoro pesanti e stress hanno un impatto significativo sulla qualità dell'assistenza ai pazienti [21] [22]. Per ridurre i carichi di lavoro non è sufficiente una programmazione ottimale delle risorse del personale clinico, ma è necessario prestare particolare attenzione all'organizzazione del lavoro e alle caratteristiche del compito. Inoltre, le interruzioni durante la pratica clinica contribuiscono ad aumentare i carichi di lavoro percepiti. Questo studio rientra all'interno di un progetto del Centro Malattie Trombotiche ed Emorragiche dell'ospedale Molinette di Torino; tale progetto si pone come obiettivo generale quello di creare un modello di simulazione in grado di riprodurre tutti i processi che si verificano all'interno del centro in analisi, con cui sarà possibile effettuare diverse simulazioni modificando lo scenario pre-esistente e valutandone l'effetto, con un focus particolare alla quantificazione del carico di lavoro giornaliero dei medici della struttura. Pertanto, negli studi che hanno preceduto questo lavoro di tesi [23], è stato analizzato e caratterizzato il carico di lavoro dei medici operanti in questo centro e, una volta ottenuti tutti i dati e le informazioni necessarie, è stato costruito un modello di simulazione basato su metodologia Agent-Based (ABM) in grado di riprodurre le attività di una giornata lavorativa tipica. Tale modello consente di avere una stima del carico di lavoro che grava sui due specialisti di ematologia del centro e di valutare se le risorse presenti all'interno del centro siano in grado di soddisfare le richieste giornaliere previste, in termini di numero di pazienti da visitare; sono stati poi costruiti i primi due scenari alternativi del centro[24] e, al termine della simulazione, sono stati confrontati i risultati tra le varie modalità inserite nel modello.

Questo lavoro di tesi rappresenta un continuo di questo progetto; partendo da quanto svolto nei precedenti lavori, l'obiettivo è quello di modificare il modello precedentemente costruito, aggiungendo così un nuovo scenario di simulazione. Nello specifico, tale scenario alternativo prevede l'inserimento di un terzo medico all'interno del centro e la conseguente ripartizione delle attività su tre specialisti del Centro Malattie Trombotiche e Emorragiche.

# Capitolo 2

## Materiali e Metodi

Come anticipato nel capitolo introduttivo, questo lavoro di tesi rientra all'interno di un progetto del Centro Malattie Trombotiche e Emorragiche dell'ospedale Molinette di Torino, ed ha come obiettivo specifico quello di valutare come l'inserimento di un terzo medico all'interno della struttura modifichi la situazione attuale, creando ed inserendo tale scenario all'interno del già costruito modello di simulazione del tipo Agent-Based della struttura in questione[24]. Per la costruzione del modello di simulazione è stata utilizzata la piattaforma NetLogo 6.1.0 [25].

### 2.1 NetLogo

Netlogo[25] è un ambiente di sviluppo per modelli multi-agente, scritto in linguaggio Java[26] da Uri Wilensky nel 1999, mantenuto dal Center for Connected Learning and Computer-Based Modelling da allora. NetLogo è un esempio di software libero, il che ha permesso a molti studenti e ricercatori di farne uso e di espanderne le funzionalità.

Ogni modello di Netlogo è costituito da tre elementi fondamentali:

- Interfaccia, ossia la parte di visualizzazione;
- Informazioni, che comprendono la documentazione sintetica del modello e qualche altra informazione utile;
- Codice, che definisce i comportamenti e le interazioni delle parti del modello, e parte della visualizzazione.

#### 2.1.1 Interfaccia

L'interfaccia di un modello è ciò che l'utente vede durante una simulazione. Essa include una visuale dell'ambiente in cui sono immersi i componenti del modello multi-agente, dei pulsanti per controllare la simulazione e ogni altro indicatore o strumento di iterazione che lo sviluppatore decide di inserire. La creazione di un'interfaccia all'interno di NetLogo è molto semplificata, grazie alla presenza di vari elementi di GUI (Graphical User Interface) che possono essere facilmente gestiti, ridimensionati e posizionati nello spazio. Vi sono inoltre controlli con cui gestire la velocità con cui avviene la simulazione; in Fig. 2.1 è possibile osservare un esempio di interfaccia di un modello creato.

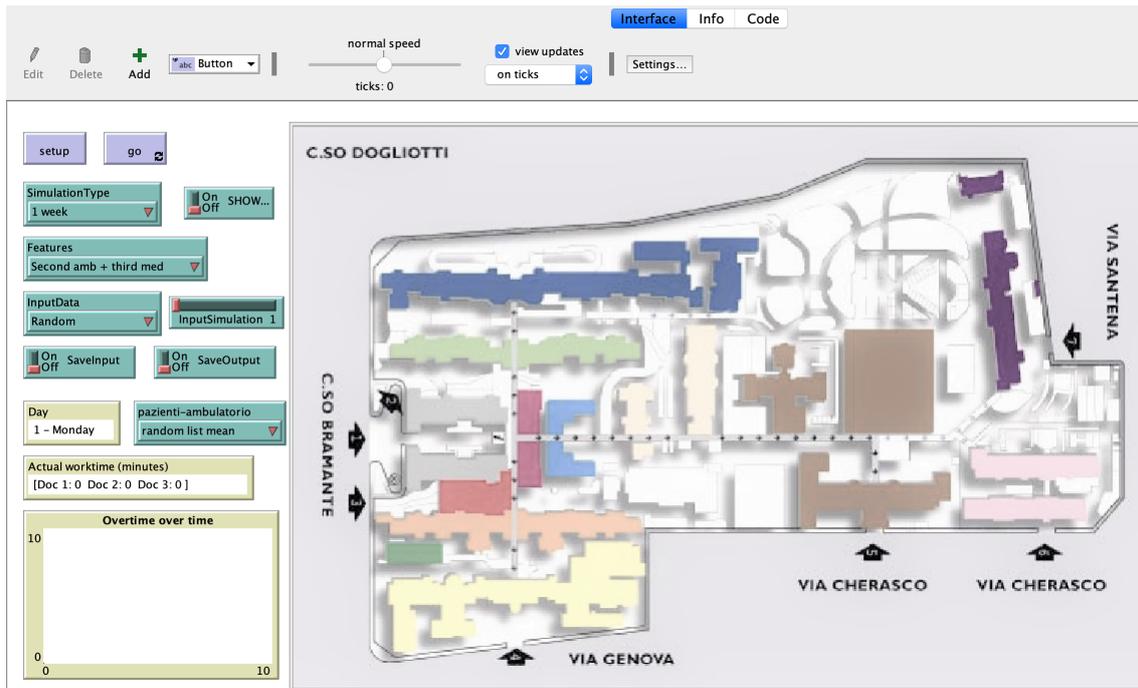


Figura 2.1: Esempio di interfaccia di un modello NetLogo

## 2.1.2 Informazioni

Ogni modello Netlogo ha la possibilità di includere la propria documentazione sintetizzata nell'apposita sezione "Info"; tale sezione ha scopo puramente descrittivo.

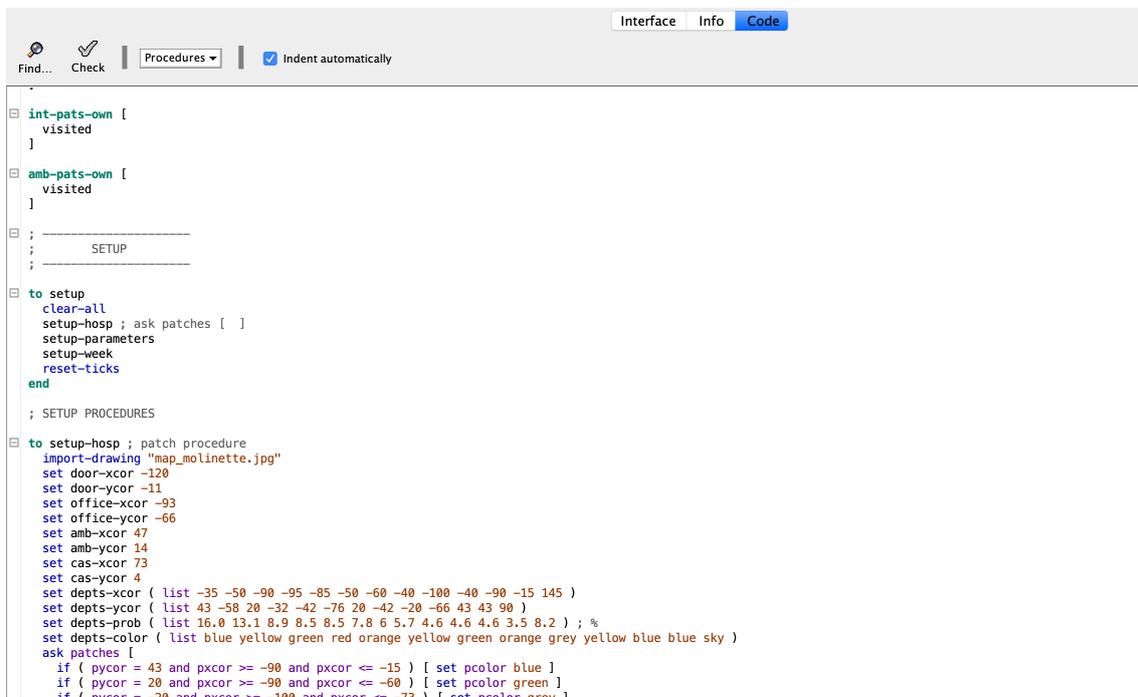


Figura 2.2: Sezione contenente il codice Netlogo.

### 2.1.3 Codice

La terza sezione è quella contenente il codice, ovvero l'elemento centrale del modello che ha lo scopo di definire proprietà, regole e altri aspetti del modello e alcuni dettagli di visualizzazione. All'interno di NetLogo gli agenti possono essere di quattro tipologie: Turtles, agenti in grado di muoversi per l'ambiente creato nel modello, bidimensionale e suddiviso in una griglia a sezione quadrata; Patches, sezioni quadrate dell'ambiente in cui le turtles sono in grado di muoversi. Links, ossia i collegamenti, che sono agenti che connettono tra loro le turtles, definendone le relazioni che le legano. Observer, ossia l'osservatore, privo di una posizione, in grado di interagire con ogni altro agente dandovi istruzioni.

Ogni agente possiede delle proprietà già definite, come posizione x/y, direzione, colore, che possono essere integrate con delle altre specificate dallo sviluppatore; è possibile inoltre assegnare set di proprietà specifiche per tipologia di agenti. NetLogo dà inoltre la possibilità di creare "breed", ovvero gruppi di agenti (turtles) che condividono specifiche proprietà tali da poterle raggruppare all'interno di una razza (breed appunto). Ogni agente compie azioni all'interno del modello grazie alle Procedure definite all'interno di questa sezione. Molte informazioni aggiuntive su NetLogo e sul suo linguaggio di programmazione sono reperibili nel manuale online [27]. L'interfaccia di programmazione è estremamente semplificata perché agevola notevolmente l'utente grazie all'utilizzo di pulsanti con cui gestire l'indentazione, ricercare nel codice e avere rapido accesso a tutte le singole procedure definite nel modello. La Fig. 2.2 mostra un esempio della sezione codice di NetLogo[25]

## 2.2 Analisi del Contesto

In un primo studio legato a questo progetto [23] sono state analizzate le attività dei medici operanti all'interno del centro. Quest'ultimo rappresenta un punto di riferimento regionale per la cura delle malattie trombotiche e emorragiche e fornisce assistenza ambulatoriale e consulti a medici di altri reparti e ospedali. Il centro è aperto dal lunedì al venerdì, dalle ore 9.00 fino ad esaurimento delle attività programmate. All'interno di questo centro, trovano impiego due specialisti in ematologia, un impiegato di segreteria e uno specializzando, ovvero un medico in formazione che compie il suo periodo di formazione in diversi reparti. Lo scopo di questo primo studio[23] è quello di analizzare e quantificare il carico di lavoro dei 2 specialisti operanti all'interno del centro; per fare ciò e avere quindi un'analisi dettagliata dell'organizzazione del centro sono stati per prima cosa individuati tutti i processi, sia clinici che amministrativi, eseguiti nel centro durante una giornata lavorativa "tipica", descritti poi utilizzando due strumenti di Process Modelling: synopsis diagram and swim lane activity diagram (Fig. 2.3). Mediante la costruzione di questi diagrammi, è stato possibile individuare tutti gli eventi che si susseguono all'interno del centro durante la fase lavorativa, con particolare attenzione a specificare quale agente prende parte ad ogni evento, Naturalmente sono state monitorate e descritte unicamente le attività che interessano i 2 medici specialisti. Le informazioni necessarie alla costruzione dei diagrammi descritti sono state ottenute mediante interviste dirette al personale sanitario del centro, focalizzate sulla descrizione delle attività condotte all'interno della struttura in una giornata lavorativa tipica. Una volta

identificati tutti i processi che si susseguono nella giornata lavorativa tipica del centro, è stata posta maggiore attenzione sul tempo necessario a condurre le principali attività della pratica clinica giornaliera e sulle possibili interruzioni e deviazioni dal workflow standard giornaliero. Sono stati raccolti i dati relativi a 4 settimane di attività clinica, per un totale di 20 giornate lavorative complete; come si può vedere in Fig. 2.4, dove sono riportate le attività giornaliere svolte durante una giornata lavorativa media del centro insieme alla loro durata, quella che occupa maggior parte del tempo è quella legata alle visite ambulatoriali.

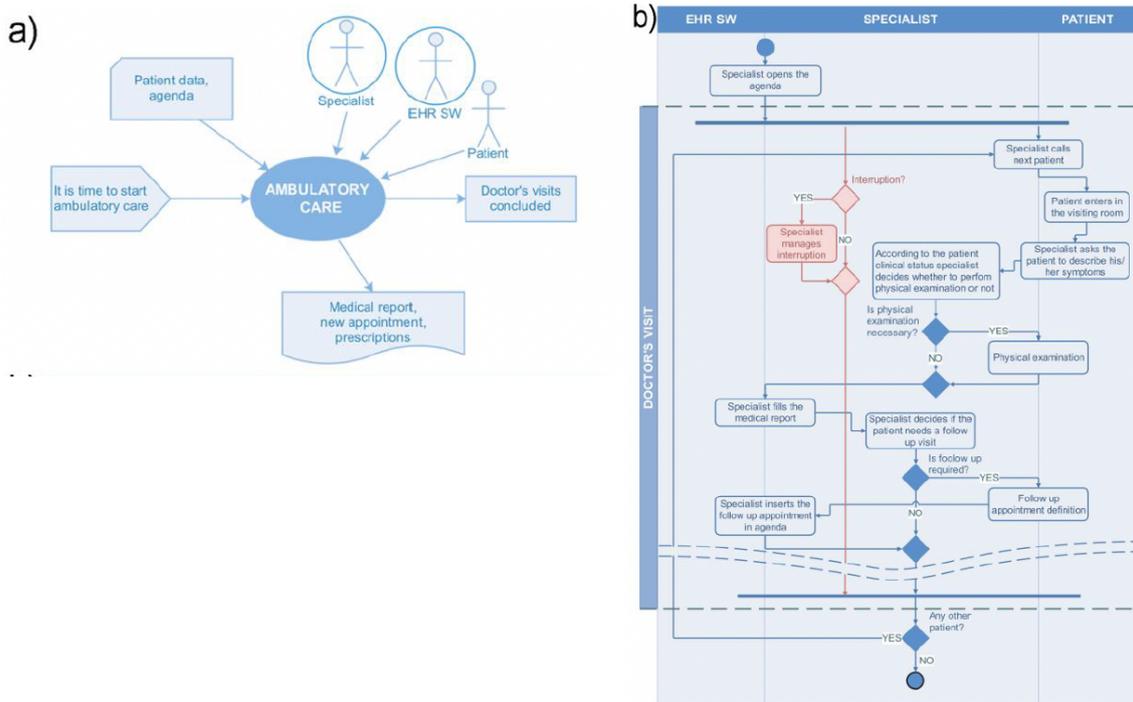


Figura 2.3: Strumenti Process Modeling utilizzati per descrivere le attività del centro: Synopsis Diagram (A) e Swim-Lane activity diagram (B) che descrivono il processo di assistenza ambulatoriale [23].

## 2.3 Punto di partenza

### 2.3.1 Raccolta dei dati

Come spiegato precedentemente, tale lavoro di tesi si inserisce all'interno di un progetto già avviato al fine di ampliare i possibili scenari di simulazione, aggiungendo quello che prevede l'inserimento di un nuovo medico nella struttura; tuttavia per poter arrivare a questo obiettivo è stato necessario analizzare ciò che è stato svolto in precedenza nel progetto legato al centro Centro Malattie Trombotiche e Emorragiche dell'ospedale Molinette di Torino[23] [24]. La prima fase di questo progetto [23] è stata incentrata sull'analisi delle attività dei medici all'interno del centro; mediante l'osservazione di ciò che avviene all'interno del centro e le interviste rivolte

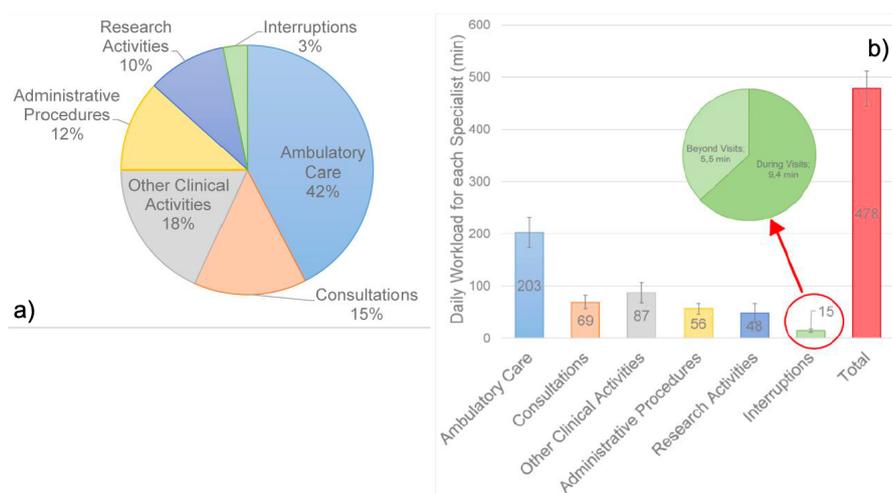


Figura 2.4: Rappresentazione attività giornaliere del centro espresse in percentuale giornaliera (a) e in minuti (b) [23].

direttamente agli specialisti, sono state individuate e classificate tutte le possibili attività giornaliere. Le attività degli specialisti del centro sono così state raggruppate in tre macro-categorie:

1. ambulatorio;
2. consulenza;
3. altre attività.

Per ognuna di queste attività è stato chiesto ai medici del centro di tenere traccia giorno per giorno, per un totale di 4 settimane lavorative complessive, di tutte le informazioni in grado di descrivere al meglio ciascuna di esse.

Per quanto riguarda le attività ambulatoriali, per ogni giorno della settimana vengono indicati:

- numero visite ambulatoriali giornaliere previste nel centro;
- durata di una singola visita ambulatoriale in quella giornata;
- numero di interruzioni telefoniche per visita: come emerso dal precedente studio [23] anche le interruzioni rappresentano una piccola percentuale della giornata complessiva dei medici del centro. Pertanto, nella fase di acquisizione dei dati relativi all'ambulatorio sono state conteggiate le telefonate ricevute dagli specialisti in modo tale da poter aggiungere la loro durata a quella complessiva dell'attività ambulatoriale; nello specifico, ad ogni interruzione è stata assegnata una durata media stimata indicativamente di 10 minuti.

Sommando i dati citati è stata ottenuta la durata giornaliera complessiva dell'attività ambulatoriale dei medici del centro, attività che assorbe la percentuale più alta del carico di lavoro giornaliero dei medici, motivo per cui i primi scenari di simulazione costruiti nel modello vertono su un miglioramento dell'efficienza di

questa serie di attività.

La seconda sezione di dati è quella riguardante le attività di consulenza interne, ovvero le visite specialistiche condotte dei medici del centro su pazienti presenti all'interno della struttura, ma dislocati in altri reparti dell'ospedale. Per quantificare l'attività di consulenza, giornalmente si è tenuta traccia del numero complessivo di visite di consulenza interna effettuate e della durata di ognuna di esse per tutte le settimane osservate. Oltre a questo però, considerando che ognuno di due medici deve recarsi fisicamente nel reparto designato, alla durata della singola consulenza viene aggiunto il tempo necessario al medico per spostarsi all'interno dell'Ospedale. Ogni spostamento viene quantificato mediamente in 20 minuti, che il medico utilizza per spostarsi dal suo ufficio al reparto per la consulenza e viceversa.

L'ultima sezione contiene al suo interno tutte le altre attività rimanenti condotte all'interno della struttura:

- Attività amministrative;
- redazione piani terapeutici;
- redazione protocolli clinici;
- attività didattiche;
- attività di ricerca;
- altre attività cliniche;
- altre attività.

In generale tutte queste attività risultano avere un impatto minore sul carico di lavoro giornaliero complessivo, poiché la loro durata è ridotta e non tutte queste attività vengono eseguite ogni giorno. Tuttavia la loro durata non è comunque trascurabile, poiché capita in alcuni casi che le attività appartenenti a questa categoria vadano ad occupare anche metà giornata lavorativa.

Quindi, per ogni giorno delle settimane lavorative osservate, è stato richiesto agli specialisti del centro di riportare i parametri caratteristici di ogni attività condotta, in modo tale da ottenere una tabella riassuntiva con cui, sommando le durate di ogni gruppo di attività, si ottiene il carico di lavoro.

In questo modo è stato costruito il dataset in grado di descrivere le attività del centro che ha reso possibile la costruzione del modello di simulazione. In particolare, per la definizione del modello sono stati utilizzati i parametri medi ricavati dal dataset, mostrati in Tabella. 2.1, ottenuti mediando giorno per giorno le informazioni del centro acquisite. Tali valori ricavati dal centro e mediati rappresentano:

- numero consulenze interne: la media giornaliera del numero di pazienti interni alla struttura che necessitano di visita specialistica dislocati in vari reparti dell'ospedale;
- numero visite ambulatoriali: la media giornaliera del numero di pazienti in visita ambulatoriale previsti nel centro;

- durata di una telefonata: durata media di una consulenza telefonica;
- durata singola consulenza interna: durata media di una singola visita di consulenza;
- durata singola visita ambulatoriale: durata media di una singola visita ambulatoriale;
- durata attività amministrative: durata media giornaliera necessaria a ultimare le attività amministrative;
- durata stesura protocolli clinic: durata media giornaliera necessaria a ultimare la stesura dei protocolli clinici;
- durata definizione piani terapeutici: durata media giornaliera necessaria a ultimare la definizione dei piani terapeutici;
- durata altre attività: durata media giornaliera necessaria a ultimare le altre attività;
- probabilità che si verifichi una telefonata: probabilità che un medico riceva una telefonata durante il suo orario di lavoro all'interno del centro.

NOME	MEDIA	DEV. STANDARD
numero consulenze interne	1,5	0,9
numero visite ambulatoriali	10,0	7,8
durata di una telefonata	10,0	2,5
durata singola consulenza interna	24,5	4,3
durata singola visita ambulatoriale	27,0	9,0
durata attività amministrative	76,5	58,1
durata stesura protocolli clinici	76,0	74,6
durata definizione piani terapeutici	21,6	23,6
durata altre attività	63,6	106,1
probabilità che si verifichi una telefonata	0.6 %	/

Tabella 2.1: Dati medi relativi alle attività del centro.

Il modello di simulazione è stato quindi inizialmente costruito con questi parametri medi ottenuti e, successivamente, ne è stata valutata l'accuratezza simulando una giornata lavorativa media e confrontando i carichi di lavoro ottenuti dei due medici con quelli reali. Da tale confronto è emersa l'affidabilità del modello: le durate ottenute dalla simulazione eseguita risultano compatibili con la situazione reale. Sarà pertanto possibile fare affidamento su questo modello per indagare l'effetto che eventuali modifiche organizzative e logistiche nella struttura potrebbero avere sul carico di lavoro dei due specialisti. Nella fase di validazione del modello sono utilizzate tutte le durate medie relative ad ogni attività il cui ordine viene specificato nell'agenda dei due medici: ognuno dei due specialisti possiede la propria agenda personale al cui interno vi è l'elenco e l'ordine delle attività giornaliere da completare.

### 2.3.2 Costruzione del modello di simulazione

Con i risultati ottenuti dall'analisi delle attività giornaliere del centro, è stato creato un modello per la simulazione del tipo Agent-Based (ABM)[24], sviluppato utilizzando il software Netlogo 6.1.0 [25].

All'interno del modello sono stati definiti tre tipologie di agenti:

1. “Medico”: specialisti del centro;
2. “Paziente ambulatoriale”: pazienti con visita ambulatoriale programmata;
3. “Paziente con consulenza interna”: pazienti che necessitano di consulenza interna.

Gli agenti corrispondono agli attori precedentemente identificati come coinvolti nei processi clinici [24]. L'ambiente in cui si svolge la simulazione in cui gli agenti eseguono le azioni programmate è la mappa reale dell'ospedale rappresentata in scala (Fig. 2.5), in modo da poter tenere traccia dell'entità degli spostamenti dei medici tra i vari ambienti/reparti. Sulla base dei processi individuati sono state anche definite le regole che gli agenti osservano all'interno del modello; l'intera simulazione è stata basata sui parametri medi ricavati a partire dai dati relativi a 4 settimane di osservazione dell'attività lavorativa del centro, mostrati precedentemente in Tabella. 2.1.

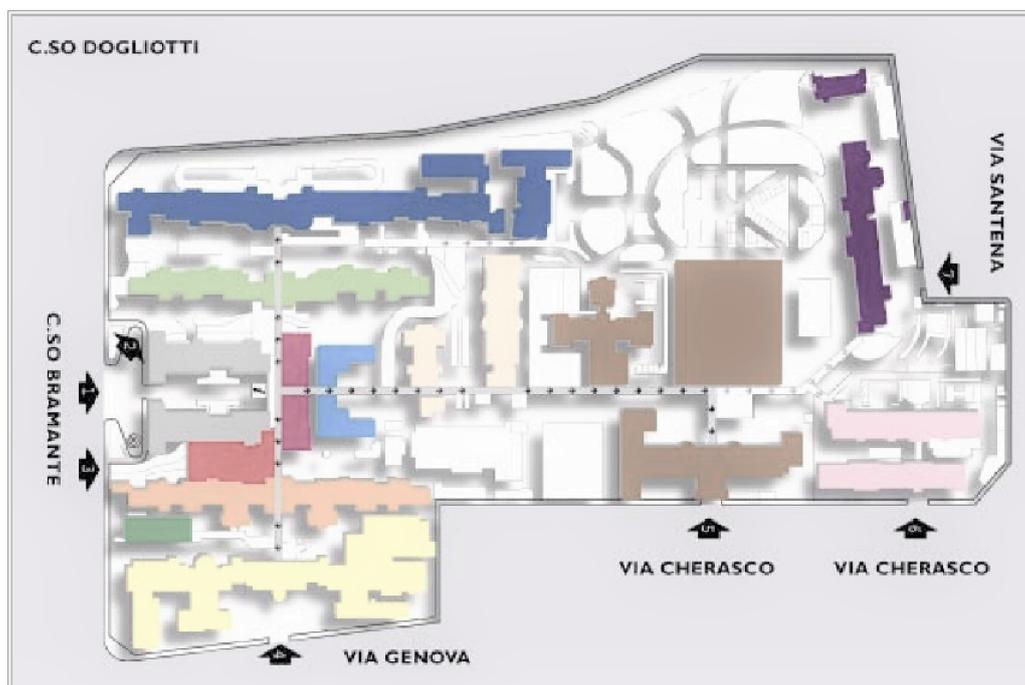


Figura 2.5: Pianta Ospedale Molinette

Per prima cosa all'interno del modello è stato riprodotto lo scenario reale del centro[24]. Questa prima modellizzazione nasce con lo scopo principale di valutare l'affidabilità del modello appena creato; sono stati confrontati i dati medi relativi alla durata delle varie attività provenienti dalla simulazione dello scenario reale del modello con quelli provenienti dai dati osservati dal centro: poiché i valori riscontrati

dalla simulazione sono conformi con quelli ricavati, il modello viene convalidato e si può procedere alla ricerca di nuove soluzioni[24]. Come visto precedentemente, l'attività che assorbe la percentuale più alta del carico di lavoro giornaliero degli specialisti all'interno del centro è quella relativa alle visite ambulatoriali. All'interno del centro infatti al momento vi è un unico ambulatorio adibito alle visite, al cui interno può esercitare un solo medico per volta; tale situazione fa sì che all'interno di una settimana lavorativa del centro compaiano sette slot temporali adibiti alle visite ambulatoriali, per un totale di 28 ore settimanali. Per questo motivo le modifiche organizzative testate nel modello interessano prevalentemente questo aspetto, ovvero una migliore organizzazione dell'attività ambulatoriale.

Nella fase di studio dei possibili scenari alternativi, un primo approccio riguarda prevalentemente la presenza di un solo ambulatorio attivo all'interno del centro[24]. L'idea è che l'aggiunta di un secondo ambulatorio attivo all'interno del centro dia la possibilità ai due specialisti di ultimare tutte le visite programmate per la giornata senza sforare il carico di lavoro massimo giornaliero. Dalle prime simulazioni eseguite si è osservato che, poiché l'attività preponderante all'interno del centro che può talvolta arrivare a riempire anche metà dell'intera giornata lavorativa dei medici è quella ambulatoriale, la presenza di un'unica sala da adibire a questa attività fa sì che talvolta si generino dei ritardi dovuti alla necessità di un medico di aspettare che l'altro abbia ultimato la sua attività ambulatoriale per procedere.

Sulla base di questi ragionamenti è stato costruito il primo scenario alternativo[24], che prevede la comparsa di un secondo ambulatorio all'interno del centro che verrà attivato e utilizzato soltanto quando è prevista da agenda settimanale l'attività ambulatoriale per entrambi i medici sia al mattino che al pomeriggio. Nella situazione reale, quando i medici del centro hanno entrambi visite ambulatoriali da compiere, uno dei due è costretto ad attendere che l'altro termini le sue visite e liberi l'ambulatorio prima di potervi accedere, causando un ritardo che non sempre viene sopperito eseguendo altre attività. La situazione simulata in questo caso mira proprio a risolvere tali problematiche: avendo a disposizione un secondo ambulatorio utilizzabile, i ritardi dovuti ad un'eventuale contemporaneità di visite ambulatoriali verrebbe meno. Pertanto, in questo scenario viene inserito nel centro un nuovo ambulatorio, cui vi si potrà accedere solo quando il primo risulta occupato (medico che visita al suo interno); poiché le azioni dei due medici sono definite dalle loro agende settimanali, questo secondo ambulatorio si attiverà solo nelle giornate in cui sono presenti visite ambulatoriali sia al mattino che al pomeriggio.

Sempre all'interno del progetto precedentemente citato [24], è stato poi simulato un secondo scenario alternativo per quanto riguarda il centro in analisi. Contrariamente allo scenario precedente, in questa nuova simulazione viene sempre inserito un nuovo ambulatorio all'interno del centro, ma stavolta esso risulterà sempre attivo e pronto all'uso per i medici del centro.

Questi due scenari rappresentano di fatto due possibili alternative di una stessa soluzione pratica, ovvero aggiungere un ambulatorio al centro. La distinzione tra questi due scenari è stata per motivi logistici; poiché all'interno questa sala ambulatoriale aggiuntiva non è presente, essa deve essere ricavata in base alle disponibilità della struttura. Per questo motivo si è cercato di dare delle soluzioni pratiche e applicabili per i medici del centro per la creazione del nuovo ambulatorio.

## 2.4 Sviluppo del lavoro

Una volta presa visione di tutte le informazioni contenute nei precedenti lavori che rientrano in questo progetto[23] [24], sono stati utilizzati i dati di partenza e i loro risultati per raggiungere l'obiettivo di questo lavoro di tesi, ovvero creare un nuovo scenario di simulazione da inserire all'interno del modello in cui compare un terzo medico specialista all'interno del centro.

### 2.4.1 Previsione esuberanti nei pazienti ambulatoriali

Dopo aver studiato e analizzato i dati medi della struttura clinica, il primo passo è stato focalizzare l'attenzione sull'attività ambulatoriale: come introdotto nel capitolo precedente, quella ambulatoriale è la pratica giornaliera che impegna più tempo rispetto alle altre per entrambi i medici. Nella situazione attuale del centro, in base all'agenda settimanale stilata per i due medici, in una settimana sono presenti in totale sette slot per l'attività ambulatoriale, ripartiti tra i due medici; uno slot corrisponde ad una durata temporale di quattro ore, pertanto in una settimana sono previsti un totale di 28 ore di ambulatorio.



Figura 2.6: Flow-chart per stimare giornate con esuberanti ambulatoriali nel centro.

Prima di procedere con l'inserimento di un terzo medico all'interno della struttura, per prima cosa è stata valutata l'adeguatezza del numero di slot settimanali adibiti alle visite ambulatoriali: l'obiettivo è capire se gli slot settimanali attualmente presenti risultano sufficienti a soddisfare le richieste ambulatoriali del centro, individuando così gli esuberanti in ambulatorio attualmente presenti nel centro in modo da poter fare una previsione del carico di lavoro del terzo medico.

Per fare ciò, sono stati utilizzati i dati prelevati in quattro settimane lavorative del centro (7 Maggio - 1 Giugno 2018) ricavati nel precedente lavoro[23] inerente a questo progetto; utilizzando il valor medio e la deviazione standard del numero

di pazienti ambulatoriali giornalieri del centro e della durata media di una singola visita, descritti in Tabella. 2.1, mediante un codice scritto in Python [28] sono state simulate cento settimane, per ognuna delle quali è stata calcolata la durata complessiva settimanale dedicata unicamente all'attività ambulatoriale. In queste 100 settimane simulate, si è tenuto conto delle interruzioni che possono verificarsi durante l'attività dei medici dovute alla richiesta di consulenze telefoniche; poiché in media viene eseguita una telefonata per visita, utilizzando un valor medio e una deviazione standard rappresentativi del tempo impiegato per una telefonata, giorno per giorno è stato possibile tenere traccia del tempo impiegato per effettuare una consulenza telefonica. Tali valori descrittivi di un'interruzione telefonica sono stati stimati in fase di sviluppo e non ricavati direttamente dal centro poiché risultava complesso per i medici del centro tenere un rendiconto preciso di tutte le potenziali telefonate giornaliere. Grazie a questi ragionamenti, per ognuna delle 100 settimane simulate è stato ottenuto il tempo totale effettivo che deve essere speso in ambulatorio per soddisfare le richieste tra visite e consulenze telefoniche, in modo da poter valutare l'adeguatezza del numero di slot presenti in agenda e predire eventuali giornate con pazienti ambulatoriali in esubero.

## 2.4.2 Espansione dataset iniziale

All'interno dell'insieme di dati a nostra disposizione riguardanti 4 settimane lavorative complete (7 Maggio - 1° giugno 2018), vi sono alcune giornate in cui non è stata registrata l'attività di ambulatorio.

Questa situazione potrebbe verificarsi unicamente in due casi possibili:

- Medico in ferie/congresso: medico assente dal centro in quanto occupato in attività lontane dal centro o semplicemente in vacanza;
- "missing": situazione in cui nonostante il medico fosse di norma presente nel centro, non è stata tenuta traccia della sua attività in ambulatorio.

Per il nostro lavoro, tali situazioni non sono da sottovalutare. Infatti, poiché tutti i ragionamenti effettuati sui dati estratti relativi a 4 settimane lavorative inerenti all'attività ambulatoriale del centro sono valutazioni settimanali, è evidente che, poiché sono dati relativi a sole 4 settimane, dati mancanti in alcuni di questi giorni portano ad una sottostima dei risultati. Per questo motivo è stato aggiunto un nuovo insieme di dati a quelli precedentemente forniti: i dati relativi alle 4 settimane di maggio sono stati integrati con dati provenienti da un periodo di osservazione di 6 settimane, dal 29 Gennaio al 9 Marzo 2018. Poiché appartenenti a due osservazioni differenti, i due set di dati non presentano esattamente lo stesso livello di dettaglio nelle attività osservate del centro; quelli relativi alle 6 settimane risultano infatti meno esaustivi e completi dei primi, tuttavia riguardo alle attività ambulatoriali, entrambe le acquisizioni contengono le stesse tipologie di informazione. Per poter valutare l'accettazione di questo nuovo insieme di dati, essi sono stati confrontati in termini medi con i dati relativi alle prime quattro settimane; per farlo è stata presa come riferimento il valore della durata media della singola visita ambulatoriale dei due periodi di acquisizione. Confrontando i valori medi per ogni giorno della settimana nelle due acquisizioni della durata media di una singola visita risultano concordi tra loro, assestandosi tutti nell'intorno di 27 minuti. Tale valore è lo stesso valor medio ricavato dalle sole 4 settimane di maggio, pertanto i due set di dati

risultato confrontabili almeno per quanto concerne le attività ambulatoriali. L'insieme dei dati relativo alle 6 settimane viene pertanto ritenuto statisticamente valido poiché utile ad una migliore caratterizzazione dell'attività ambulatoriale del centro; tuttavia è bene segnalare e tener presente che anche questi nuovi dati presentano delle giornate mancanti, ovvero dei "missing". Purtroppo la presenza di "missing" all'interno di una raccolta di dati clinici di questo tipo è una cosa molto frequente, in quanto può capitare che uno dei medici per una specifica giornata non riesca a tenere traccia delle sue operazioni a causa, ad esempio, di un sovraffollamento del centro o di un qualunque contrattempo che può verificarsi in strutture di questo tipo, la cui risoluzione ha chiaramente maggior importanza rispetto al resto perché potrebbe coinvolgere i pazienti del centro. Una volta costruito il nuovo insieme di dati, sono stati ricavati i valori medi della durata giornaliera di una singola visita ambulatoriale mediando ogni giorno della settimana; la durata media della singola visita ambulatoriale varia per ogni giorno della settimana. Tale differenza potrebbe essere in parte giustificata dal fatto che le visite ambulatoriali nei giorni di lunedì, martedì e giovedì, la cui durata media è di circa 30 minuti, sono spesso prime visite pertanto al loro interno una parte del tempo viene spesa per completare la cartella clinica del paziente, mentre quelle dei giorni, mercoledì e venerdì, rimanenti sono delle visite di follow up e pertanto la loro durata media è di circa 20 minuti. Una volta preso atto di ciò si è deciso di tenere questa informazione aggiuntiva circa la durata media di una visita singola ambulatoriale, facendo variare quest'ultima in base al giorno della settimana; tale informazione verrà chiaramente riportata all'interno del modello di simulazione.

### 2.4.3 Valutazione pazienti ambulatoriali in esubero

Per poter individuare il numero di pazienti ambulatoriali giornalmente in esubero è stato valutato il numero massimo di pazienti che possono essere visitati in ambulatorio rientrando nei 240 minuti (4 ore), massima durata dell'attività ambulatoriale. Poiché, come visto in precedenza, si è deciso di assumere un valor medio per la durata di una singola visita che varia in base al giorno della settimana, anche il massimo numero di pazienti visitabili in ambulatorio risulterà variabile giornalmente.

Per ogni giorno della settimana, qualora vi saranno pazienti in eccesso rispetto al massimo numero previsto per quella giornata, questi ultimi saranno considerati esuberanti. I pazienti in esubero sono stati valutati giornalmente per entrambi i medici: la somma degli esuberanti dei due medici rappresenta il numero di pazienti che, all'interno dello scenario simulato, saranno attribuiti al terzo medico. Il calcolo dei pazienti in esubero giornalieri per ognuno dei due medici sono riportati in Tab. 2.2 e Tab. 2.3.

In Tab. 2.4 e Tab. 2.5 sono stati riassunti i dati descritti in precedenza; è possibile osservare il numero di pazienti ambulatoriali in esubero medi per ognuno dei due medici e la durata complessiva dell'attività ambulatoriale escludendo gli esuberanti appena individuati: tale durata è stata divisa in modo tale da vedere a quanti slot ambulatoriali corrisponde.

Un lavoro simile è stato svolto per il terzo medico: una volta individuato il numero di pazienti ambulatoriali che gli competono, utilizzando la durata media giornaliera di una visita ambulatoriale è stata ricavata la durata complessiva dell'attività ambulatoriale del terzo medico. Il conteggio complessivo di quest'ultima è

AMBULATORIO												
		DATA	# visite	# visite	#	Durata	Durata	Durata	# totale	# pazienti in	#pazienti in	Durata
			ambulatoria li NON in forzatura	ambulatoria li in forzatura	interruzioni per cons. TELEFONICH	ambulatorio	ambulatorio meno cons. tel.	media visita	pazienti ambulatorio	un turno (240 min)	esubero/pazi enti assegnati al 3o medico	senza pazienti in esubero
MEDICO 1	WEEK 1	29/01/18	10	3	1	540,0	530,0	40,8	13	8	5	240,0
		30/01/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	8	0	0,0
		31/01/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	12	0	0,0
		01/02/18	10	2	1	480,0	470,0	39,2	12	8	4	240,0
		02/02/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	12	0	0,0
	WEEK 2	05/02/18	10	5	1	480,0	470,0	31,3	15	8	7	240,0
		06/02/18	12	6	3	570,0	540,0	30,0	18	8	10	240,0
		07/02/18	16	2	3	540,0	510,0	28,3	18	12	6	240,0
		08/02/18	9	0	0	300,0	300,0	33,3	9	8	1	240,0
		09/02/18	2	0	0	40,2	40,2	20,1	2	12	0	40,0
	WEEK 3	12/02/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	8	0	0,0
		13/02/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	8	0	0,0
		14/02/18	10	2	0	420,0	420,0	35,0	12	12	0	240,0
		15/02/18	12	3	0	390,0	390,0	26,0	15	8	7	240,0
		16/02/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	12	0	0,0
	WEEK 4	19/02/18	9	3	3	480,0	450,0	37,5	12	8	4	240,0
		20/02/18	8	2	2	480,0	460,0	46,0	10	8	2	240,0
		21/02/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	12	0	0,0
		22/02/18	4	0	0	0,0	0,0	0,0	4	8	0	120,0
		23/02/18	1	0	0	0,0	0,0	0,0	1	12	0	20,0
	WEEK 5	26/02/18	12	1	1	210,0	200,0	15,4	13	8	5	240,0
		27/02/18	1	0	0	0,0	0,0	0,0	1	8	0	30,0
		28/02/18	10	2	5	270,0	220,0	18,3	12	12	0	240,0
		01/03/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	8	0	0,0
		02/03/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	12	0	0,0
	WEEK 6	05/03/18	9	3	0	540,0	540,0	45,0	12	8	4	240,0
		06/03/18	13	8	0	540,0	540,0	25,7	21	8	13	240,0
		07/03/18	7	0	0	180,0	180,0	25,7	7	12	0	140,0
		08/03/18	11	4	0	300,0	300,0	20,0	15	8	7	240,0
		09/03/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	12	0	0,0
	WEEK 7	07/05/18	10	6	0	360,0	360,0	22,5	16	8	8	240,0
		08/05/18	8	2	3	420,0	390,0	39,0	10	8	2	240,0
		09/05/18	16	5	0	510,0	510,0	24,3	21	12	9	240,0
		10/05/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	8	0	0,0
		11/05/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	12	0	0,0
	WEEK 8	14/05/18	8	4	1	300,0	290,0	24,2	12	8	4	240,0
		15/05/18	6	0	0	210,0	210,0	35,0	6	8	0	180,0
		16/05/18	6	0	2	240,0	220,0	36,7	6	12	0	120,0
		17/05/18	8	3	1	240,0	230,0	20,9	11	8	3	240,0
		18/05/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	12	0	0,0
	WEEK 9	21/05/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	8	0	0,0
		22/05/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	8	0	0,0
		23/05/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	12	0	0,0
		24/05/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	8	0	0,0
		25/05/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	12	0	0,0
	WEEK 10	28/05/18	8	7	1	540,0	530,0	35,3	15	8	7	240,0
		29/05/18	8	5	0	225,0	225,0	17,3	13	8	5	240,0
		30/05/18	6	0	0	240,0	240,0	40,0	6	12	0	120,0
		31/05/18	10	1	0	480,0	480,0	43,6	11	8	3	240,0
		01/06/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	12	0	0,0

Tabella 2.2: Valutazione del numero di pazienti ambulatoriali in esubero per il Medico 1.

anch'esso riportato in Tab. 2.7, riassunti in Tabella. 2.6 è possibile osservare gli slot ambulatoriali settimanali medi per il terzo medico necessari a completare le visite che gli spettano (ovvero degli esuberi dei primi due medici).

Si osserva che i primi due medici, togliendo i pazienti in esubero e assegnandoli al terzo medico, in media necessitano di un totale di 7 slot settimanali per riuscire ad esaurire le visite ambulatoriali, valore che corrisponde al numero di slot attualmente disponibili settimanalmente, mettendo insieme le loro agende. Quindi, secondo questo ragionamento, inserendo la figura del terzo medico e assegnandole almeno 4 slot settimanali mediamente non dovrebbero comparire più overtime per quanto riguarda l'ambulatorio.

AMBULATORIO												
	DATA	# visite	# visite	#	Durata	Durata ambulatorio	Durata	# totale	# pazienti in	# pazienti in	Durata	
		ambulatoriali NON in forzatura	ambulatoria li in forzatura	interruzioni per cons. TELEFONIC	ambulatorio	meno cons. tel.	media visita	pazienti ambulatorio	un turno (240 min)	esubero/pazi enti assegnati al 3o medico	senza pazienti in esubero	
WEEK 1	29/01/18	0	3	0	210,0	210,0	70,0	3	8	0	90,0	WEEK 1
	30/01/18	11	4	3	420,0	390,0	26,0	15	8	7	240,0	
	31/01/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	12	0	0,0	
	01/02/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	8	0	0,0	
	02/02/18	16	12	5	900,0	850,0	30,4	28	12	16	240,0	
WEEK 2	05/02/18	11	4	0	290,0	289,8	19,3	15	8	7	240,0	WEEK 2
	06/02/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	8	0	0,0	
	07/02/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	12	0	0,0	
	08/02/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	8	0	0,0	
	09/02/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	12	0	0,0	
WEEK 3	12/02/18	13	5	0	300,0	300,0	16,7	18	8	10	240,0	WEEK 3
	13/02/18	8	3	2	270,0	250,0	22,7	11	8	3	240,0	
	14/02/18	8	5	3	210,0	180,0	13,8	13	12	1	240,0	
	15/02/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	8	0	0,0	
	16/02/18	15	5	2	390,0	370,0	18,5	20	12	8	240,0	
WEEK 4	19/02/18	11	4	1	270,0	260,0	17,3	15	8	7	240,0	WEEK 4
	20/02/18	5	3	0	270,0	270,0	33,8	8	8	0	240,0	
	21/02/18	8	7	0	330,0	330,0	22,0	15	12	3	240,0	
	22/02/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	8	0	0,0	
	23/02/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	12	0	0,0	
WEEK 5	26/02/18	11	3	0	240,0	240,0	17,1	14	8	6	240,0	WEEK 5
	27/02/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	8	0	0,0	
	28/02/18	6	3	3	270,0	240,0	26,7	9	12	0	180,0	
	01/03/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	8	0	0,0	
	02/03/18	16	5	4	390,0	350,0	16,7	21	12	9	240,0	
WEEK 6	05/03/18	10	0	2	255,0	235,0	23,5	10	8	2	240,0	WEEK 6
	06/03/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	8	0	0,0	
	07/03/18	8	2	2	210,0	190,0	19,0	10	12	0	200,0	
	08/03/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	8	0	0,0	
	09/03/18	13	1	3	360,0	330,0	23,6	14	12	2	240,0	
WEEK 7	07/05/18	11	3	2	270,0	250,0	17,9	14	8	6	240,0	WEEK 7
	08/05/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	8	0	0,0	
	09/05/18	4	0	0	75,0	75,0	18,8	4	12	0	80,0	
	10/05/18	4	0	0	150,0	150,0	37,5	4	8	0	120,0	
	11/05/18	19	6	2	420,0	400,0	16,0	25	12	13	240,0	
WEEK 8	14/05/18							0	8	0	0,0	WEEK 8
	15/05/18	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	8	0	0,0	
	16/05/18	10	4	0	300,0	300,0	21,4	14	12	2	240,0	
	17/05/18							0	8	0	0,0	
	18/05/18							0	12	0	0,0	
WEEK 9	21/05/18	15	5	2	390,0	370,0	18,5	20	8	12	240,0	WEEK 9
	22/05/18	13	5	5	510,0	460,0	25,6	18	8	10	240,0	
	23/05/18	6	3	4	240,0	200,0	22,2	9	12	0	180,0	
	24/05/18							0	8	0	0,0	
	25/05/18	14	6	4	420,0	380,0	19,0	20	12	8	240,0	
WEEK 10	28/05/18	11	2	0	480,0	480,0	36,9	13	8	5	240,0	WEEK 10
	29/05/18							0	8	0	0,0	
	30/05/18							0	12	0	0,0	
	31/05/18							0	8	0	0,0	
	01/06/18	13	9	3	480,0	450,0	20,5	22	12	10	240,0	

Tabella 2.3: Valutazione del numero di pazienti ambulatoriali in esubero per il Medico 2.

Giorno	media pazienti in esubero	durata media senza esuberanti
LUNEDÌ	5,5	240,0
MARTEDÌ	4	176
MERCOLEDÌ	2	168
GIOVEDÌ	4	223
VENERDÌ	0	10
TOTALE	15	816,6 (min)
ORE	/	13,6
SLOT	/	3

Tabella 2.4: Durata media attività ambulatoriale del primo medico eliminando pazienti ambulatoriali in esubero.

#### 2.4.4 Definizione del nuovo scenario: Terzo Medico

Nei due scenari alternativi descritti nel precedente lavoro inserito in questo progetto [24], si è tentato di gestire il problema dell'eccessivo carico di lavoro andando ad agire unicamente sul numero di ambulatori disponibili e sulle modalità d'accesso in

Giorno	media pazienti in esubero	durata media senza esuberi
LUNEDÌ	7	240,0
MARTEDÌ	4	200
MERCOLEDÌ	2	203
GIOVEDÌ	0	60
VENERDÌ	9	240
TOTALE	22	942,9 (min)
ORE	/	15,7
SLOT	/	4

Tabella 2.5: Durata media attività ambulatoriale del secondo medico eliminando pazienti ambulatoriali in esubero.

Giorno	media pazienti in esubero	durata ambulatorio terzo medico
LUNEDÌ	10	300
MARTEDÌ	2	215
MERCOLEDÌ	2	45
GIOVEDÌ	4	53
VENERDÌ	9	80
TOTALE	28	692,5 (min)
ORE	/	11,5
SLOT	/	3

Tabella 2.6: Durata media attività ambulatoriale del terzo medico: gli esuberi individuati per i primi due medici sono considerati pazienti ambulatoriali del terzo medico.

ambulatorio. Dal punto di vista della simulazione si è tentato in questo lavoro di tesi di andare oltre: nel terzo scenario, oltre alla presenza e all'attivazione di un secondo ambulatorio utilizzabile insieme al primo, l'ipotesi alla base della simulazione è che all'interno del centro venga inserito un nuovo agente medico specialista. Dalla fase di previsione dell'attività ambulatoriale settimanale è emerso che i sette slot settimanali, complessivi dei due medici, adibiti alle visite ambulatoriali non sono mediamente sufficienti a soddisfare il numero di visite previste; in virtù di ciò, risulta quindi plausibile che l'aggiunta di un terzo specialista in grado di svolgere le stesse attività dei due medici già presenti possa risultare utile da questo punto di vista. Per aggiungere un terzo medico all'interno della struttura, occorre definire una nuova agenda settimanale che conterrà le attività che lo specialista dovrà eseguire: per il nostro scenario si è deciso che sarà compito del terzo medico effettuare ambulatorio, consulenze interne e definizione dei piani terapeutici. Prima di definire l'agenda settimanale del nuovo medico, è stata nuovamente presa in analisi la situazione dell'ambulatorio all'interno del centro: dato che mediamente gli slot necessari non risultano sufficienti a coprire il numero di pazienti ambulatoriali presenti giornalmente nel centro, si è cercato di valutare quanti di questi pazienti risultano in esubero, ovvero i pazienti la cui visita causa ad uno dei medici di andare oltre quella che dovrebbe essere la massima durata possibile di attività in ambulatorio

		TOTALE NUMERO PAZIENTI ESUBERO SETT	TOTALE NUMERO PAZIENTI ESUBERO SETT	DURATA AMBULATORIO TERZO MEDICO
Medico3	DATA			
WEEK 1	29/01/18	32	5	150
	30/01/18		7	210
	31/01/18		0	0
	01/02/18		4	120
	02/02/18		16	320
WEEK 2	05/02/18	31	14	420
	06/02/18		10	300
	07/02/18		6	120
	08/02/18		1	30
	09/02/18		0	0
WEEK 3	12/02/18	29	10	300
	13/02/18		3	90
	14/02/18		1	20
	15/02/18		7	210
	16/02/18		8	160
WEEK 4	19/02/18	16	11	330
	20/02/18		2	60
	21/02/18		3	60
	22/02/18		0	0
	23/02/18		0	0
WEEK 5	26/02/18	20	11	330
	27/02/18		0	0
	28/02/18		0	0
	01/03/18		0	0
	02/03/18		9	180
WEEK 6	05/03/18	28	6	180
	06/03/18		13	390
	07/03/18		0	0
	08/03/18		7	210
	09/03/18		2	40
WEEK 7	07/05/18	38	14	420
	08/05/18		2	60
	09/05/18		9	180
	10/05/18		0	0
	11/05/18		13	260
WEEK 8	14/05/18	9	4	120
	15/05/18		0	0
	16/05/18		2	40
	17/05/18		3	90
	18/05/18		0	0
WEEK 9	21/05/18	30	12	360
	22/05/18		10	300
	23/05/18		0	0
	24/05/18		0	0
	25/05/18		8	160
WEEK 10	28/05/18	30	12	360
	29/05/18		5	150
	30/05/18		0	0
	31/05/18		3	90
	01/06/18		10	200

Tabella 2.7: Calcolo del numero di pazienti ambulatoriali da assegnare al terzo medico.

(240 minuti), causando un aumento del proprio carico di lavoro giornaliero.

### 2.4.5 Modifica agenda settimanale

Inserendo un nuovo specialista all'interno del centro, questi dovrà comunque avere una giornata lavorativa di 8 ore come i suoi colleghi; dunque il terzo medico non potrà solo occuparsi dell'ambulatorio, ma ad esso dovranno essere attribuite altre attività. Oltre a quella ambulatoriale, si è deciso che il terzo medico si occuperà anche delle consulenze interne e della definizione dei piani terapeutici; queste attività sono riportate all'interno della nuova agenda settimanale costruita per il terzo specialista (Fig. 2.7). Il terzo medico si occuperà ogni giorno di ognuna di queste 3 attività; ciò comporta che per ognuna di queste attività vi saranno 5 slot settimanali in più. Come evidenziato dalle stime circa i pazienti ambulatoriali in esubero complessivi, il numero minimo di slot settimanali da attribuire al terzo medico per le visite in ambulatorio tale da garantire il trattamento a tutti i pazienti previsti è di 3 slot. Tuttavia tale valore è stato ricavato mediante delle stime settimanali su quella che l'attività ambulatoriale di reparto ed è inoltre frutto di approssimazioni comparse nella fase di conversione della durata delle visite da minuti a ore e slot. Inoltre il nuovo medico all'interno della struttura è a tutti gli effetti al pari degli altri medici già presenti, per cui anche il suo monte orario lavorativo dovrà essere pari a quello degli altri specialisti. L'alloggiamento delle attività del terzo medico negli slot giornalieri, (mattina/pomeriggio) è stata composta sulla base delle agende dei primi due specialisti: è stata costruita in modo tale che per ogni mezza giornata di attività compaiano massimo due turni di ambulatorio di due medici diversi contemporaneamente; inoltre per rendere ciò possibile, sono state anche ri-organizzate le agende dei primi due medici, in cui nonostante siano state mantenute le stesse attività, ne è stato rivisto l'ordine.

Tale accorgimento è stato preso per rispettare la situazione simulate, dove sono presenti due ambulatori fruibili contemporaneamente.

Chiaramente dalla Fig. 2.7 si può notare che nelle giornate di lunedì e mercoledì tutti e 3 gli specialisti del centro effettueranno le visite ambulatoriali programmate. Ciò implica che in giornate come queste, la suddivisione dei pazienti ambulatoriali viene fatta sulla base del numero di slot ambulatoriali e quindi in base al numero di medici che in quella specifica giornata hanno in ambulatorio in agenda. Oltre al discorso legato all'ambulatorio, come detto al terzo medico sono state assegnate le consulenze interne e la costruzione dei piani terapeutici. Per quanto riguarda le consulenze, come per le visite ambulatoriali, tutti i pazienti in consulenza interna previsti per un giorno saranno suddivisi in base al numero di medici che in quella specifica giornata hanno un turno di consulenza all'interno della loro agenda. Riguardo invece la costruzione dei piani terapeutici, in seguito all'aggiunta di nuovi slot settimanali è stato necessario ri-calcolare loro la durata media, precedentemente valutata solo per due medici. Per farlo sono state prese in considerazione i dati forniti delle prime 4 settimane. Non sono state prese in considerazione le 6 settimane aggiunte in seguito in quanto esse non contengono indicazioni riguardo la definizione dei piani terapeutici, ed è stato diviso il tempo settimanale totale dedicato alla loro definizione per il nuovo numero di slot disponibili giornalmente, ovvero per il numero di medici che in quella giornata hanno all'interno della loro agenda tale attività.

ATTIVITA' SETTIMANALE MOLINETTE		MEDICO 1	MEDICO 2	MEDICO 3
LUNEDI	MATTINA	AMBULATORIO	Q. AMMINISTRATIVE CONSULENZA PIANI TERAPEUTICI PROTOCOLLI CLINICI	AMBULATORIO
	POMERIGGIO	Q. AMMINISTRATIVE CONSULENZA PIANI TERAPEUTICI PROTOCOLLI CLINICI	AMBULATORIO	CONSULENZA PIANI TERAPEUTICI
MARTEDI	MATTINA	AMBULATORIO	Q. AMMINISTRATIVE ALTRE ATTIVITA' PIANI TERAPEUTICI	CONSULENZA PIANI TERAPEUTICI
	POMERIGGIO	Q. AMMINISTRATIVE ALTRE ATTIVITA'	CONSULENZA PROTOCOLLI CLINICI	AMBULATORIO
MERCOLEDI	MATTINA	AMBULATORIO	Q. AMMINISTRATIVE CONSULENZA PROTOCOLLI CLINICI PIANI TERAPEUTICI	AMBULATORIO
	POMERIGGIO	Q. AMMINISTRATIVE ALTRE ATTIVITA'	AMBULATORIO	CONSULENZA PIANI TERAPEUTICI
GIOVEDI	MATTINA	Q. AMMINISTRATIVE ALTRE ATTIVITA'	AMBULATORIO	CONSULENZA PIANI TERAPEUTICI
	POMERIGGIO	CONSULENZA	Q. AMMINISTRATIVE PROTOCOLLI CLINICI PIANI TERAPEUTICI	AMBULATORIO
VENERDI	MATTINA	Q. AMMINISTRATIVE ALTRE ATTIVITA'	AMBULATORIO	CONSULENZA PIANI TERAPEUTICI
	POMERIGGIO	CONSULENZA PROTOCOLLI CLINICI	Q. AMMINISTRATIVE PIANI TERAPEUTICI	AMBULATORIO

Figura 2.7: Nuove agende settimanali costruite per tre specialisti

### 2.4.6 Costruzione del nuovo scenario: Terzo Medico

Una volta stimato l'impatto dato dall'aggiunta di un terzo medico all'interno del centro e definite le variazioni in termini di parametri statistici che essa comporta, mediante la piattaforma Netlgo 6.1.0 è stato costruito il nuovo scenario di simulazione contenente la figura del terzo medico, ed è stato integrato all'interno del modello di simulazione ABM precedentemente costruito e validato [24]. A questo punto il modello è in grado di simulare i 3 scenari alternativi immaginati oltre alla situazione reale del centro. In Fig. 2.8 e Fig. 2.9 è possibile osservare l'interfaccia del programma durante le varie operazioni che avvengono all'interno della simulazione.

Per quanto riguarda la temporizzazione, all'interno del modello sarà possibile effettuare la simulazione di una sola giornata lavorativa oppure di un'intera settimana; la simulazione giornaliera è stata utilizzata unicamente con lo scenario reale per verificare la coerenza tra i valori medi estratti dai dati del centro e quelli simulati. Per il resto è stata scelta come durata della simulazione quella settimanale perché le attività dei medici del centro sono stabilite dalle agende create che appunto hanno una durata settimanale.

Utilizzando come input i valori medi di durata delle varie attività provenienti dai dati raccolti dal centro, il modello è in grado di salvare un tabulato contenente le informazioni precise riguardanti le attività del centro. Pertanto una volta costruito l'intero modello, utilizzando come input i valori medi del centro, sono state simulate 10 settimane lavorative "reali" all'interno del centro. Queste 10 settimane sono state poi a loro volta utilizzate come dati di input all'interno del modello per ognuno degli scenari di simulazione costruiti: così facendo è stato possibile osservare come varia la distribuzione del carico di lavoro tra le varie simulazioni, individuando la soluzione migliore dal punto di vista lavorativo degli specialisti.

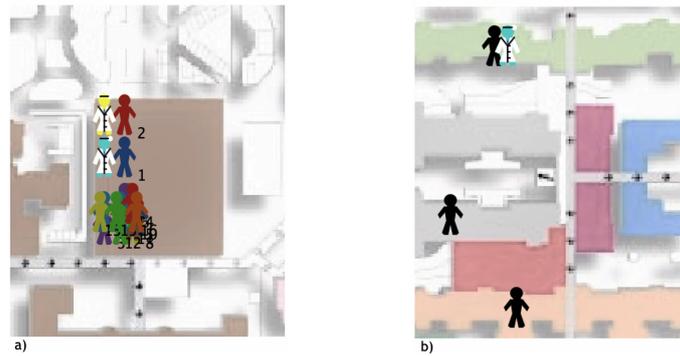


Figura 2.8: Schermate modello: a) medici in visita ambulatoriali nelle due sale adibite; b) medico in consulenza interna in un generico reparto dell'ospedale.

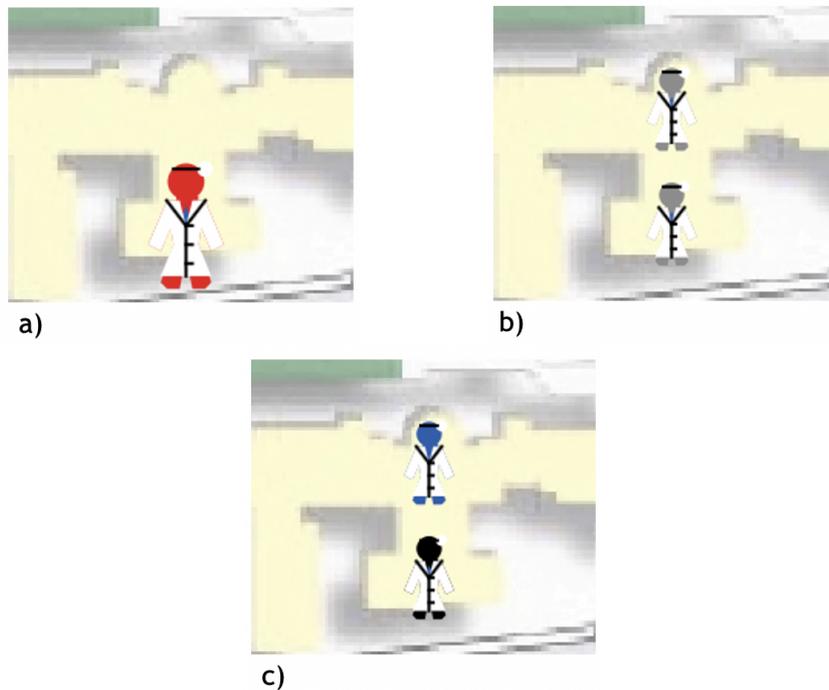


Figura 2.9: Schermate modello: a) medico impegnato in un'interruzione telefonica; b) medici occupati nella costruzione dei protocolli clinici; c) medico 1 che svolge attività amministrative e medico 2 definisce piani terapeutici.

# Capitolo 3

## Risultati e Discussione

### 3.1 Stima attività ambulatoriale del centro

La fase iniziale del progetto si è posta come obiettivo quello di predire la durata complessiva media dell'attività ambulatoriale in una settimana. Come numero di pazienti ambulatoriali previsti per ogni giornata è stato scelto un valore compreso tra il minimo e il massimo numero di pazienti ambulatoriali che, in base ai dati raccolti, in quella stesa giornata sono attesi nel centro, scelto in maniera random. La durata della singola visita ambulatoriale è stata stimata partendo da un valor medio di 27 minuti e una deviazione standard di 9.0, entrambi valori ottenuti mediando tutte le durate delle singole visite giornaliere del centro. Le interruzioni causate dalle consulenze telefoniche sono state quantificate come una per visita, della durata media di 10 min con una deviazione standard di 2.5 minuti. La durata complessiva dell'attività ambulatoriale del centro è stata infine calcolata sommando quest'ultima alla durata impiegata per completare tutte le visite ambulatoriali previste. Con questo metodo sono state simulate 100 settimane, per stimare gli slot settimanali necessari agli specialisti per completare le visite ambulatoriali previste.

I risultati di questa prima simulazione numerica, osservabili nella Tabella 3.1, mostrano che solo in 12 delle 100 settimane simulate la durata complessiva dell'attività ambulatoriale è tale da poter essere coperta da 7 turni di ambulatorio, ovvero quello attualmente disponibili nel centro; in tutte le altre settimane simulate è evidente che risulti necessario una disponibilità maggiore in termini di tempo spendibile in ambulatorio.

### 3.2 Stima durata media giornaliera di una singola visita ambulatoriale

Con il tentativo di avere una maggior quantità di dati relativi all'attività ambulatoriale del centro, l'insieme dei dati acquisiti nelle 4 settimane che vanno dal 7 Maggio al 1° giugno 2018 sono stati integrati con un altro insieme di dati relativi a 6 settimane di osservazioni del centro, dal 29 Gennaio al 9 Marzo. Questa scelta è stata determinata per limitare l'effetto della presenza di dati mancanti all'interno del primo dataset fornito.

SETTIMANA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
# PAZIENTI AMBULATORIALI	65	59	73	74	81	54	64	68	67	74	66	63	75	73	74	61	76	83	79	76	75	71	81	63	80
DURATA VISITA AMBULATORIALE (MIN)	31	28	36	33	36	26	33	32	30	33	33	31	35	34	33	29	36	39	38	37	34	33	37	30	38
SLOT NECESSARI	8	7	9	8	9	6	8	8	8	8	8	8	9	8	8	7	9	10	10	9	8	8	9	8	10
SETTIMANA	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
# PAZIENTI AMBULATORIALI	69	69	69	62	68	82	89	62	67	75	67	72	84	74	78	68	64	70	71	56	74	78	73	70	75
DURATA VISITA AMBULATORIALE (MIN)	30	32	33	27	34	38	41	28	33	36	31	33	37	35	37	31	30	32	32	26	32	36	34	32	35
SLOT NECESSARI	8	8	8	7	8	10	10	7	8	9	8	8	9	9	9	8	8	8	8	6	8	9	8	8	9
SETTIMANA	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
# PAZIENTI AMBULATORIALI	71	67	74	78	70	81	53	57	77	73	65	88	82	78	80	73	78	69	67	71	69	58	72	70	78
DURATA VISITA AMBULATORIALE (MIN)	31	32	35	34	33	37	26	28	35	38	29	42	41	37	38	34	35	33	31	34	32	27	32	35	35
SLOT NECESSARI	8	8	9	8	8	9	6	7	9	10	7	10	10	9	10	8	9	8	8	8	8	7	8	9	9
SETTIMANA	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
# PAZIENTI AMBULATORIALI	65	81	81	82	61	73	74	81	67	69	71	64	68	73	79	78	66	64	62	69	73	82	57	79	58
DURATA VISITA AMBULATORIALE (MIN)	30	35	37	39	28	34	34	38	30	32	32	29	30	35	36	35	31	29	28	32	34	37	25	36	27
SLOT NECESSARI	8	9	9	10	7	8	8	10	8	8	8	7	8	9	9	9	8	7	7	8	8	9	6	9	7

Tabella 3.1: Risultato delle 100 settimane simulate per predire durata complessiva attività ambulatoriale del centro: le colonne indicano rispettivamente la settimana simulata, il numero di pazienti ambulatoriali totali attesi, la durata complessiva delle visite ambulatoriali (ore) e il numero di slot corrispondenti a questa durata (uno slot = 4 ore).

Il dataset finale ottenuto contiene quindi i dati relativi alle visite ambulatoriali condotte in 10 settimane lavorative del centro. E' stata confrontata la durata media di ogni giorno della settimana (lun-ven) ricavata rispettivamente dalle prime 4 settimane di dati forniti e dalle 6 aggiunte (Tab.. 3.2). Nonostante le singole settimane presentino risultati tra loro lievemente differenti, le medie tra i valori delle prime 4 settimane e quella delle 6 aggiuntive mostrano valori concordi, consentendoci di definire la durata media di una singola visita ambulatoriale, cioè 27,0 minuti. Una volta verificata l'attendibilità di questo set insieme di dati costruito, si è proseguito analizzando più a fondo come varia giornalmente la durata giornaliera di una singola visita ambulatoriale nelle varie settimane (Tab. 3.3). È emerso che la media si differenzia in base ai diversi giorni della settimana: 30 minuti per le giornate di lunedì, martedì e mercoledì e 20 minuti per quelle di giovedì e venerdì (Tab. 3.4). Questi nuovi valori medi giornalieri sono stati implementati all'interno del modello di simulazione del centro.

AMBULATORIO	SETT. 1	SETT. 2	SETT. 3	SETT. 4	SETT. 5	SETT. 6	SETT. 7	SETT. 8	SETT. 9	SETT. 10
DURATA MEDIA	41,3	27,1	22,1	31,3	18,8	26,1	25,1	27,6	21,3	32,3
MEDIA 4/6	27,8						26,6			
MEDIA COMPLESSIVA SETTIMANALE	27,3									

Tabella 3.2: durata media singola visita ambulatoriale nelle 10 settimane osservate

Giorno della settimana	Durata media ambulatorio	Durata media singola visita
LUNEDÌ	323,9	28,8
MARTEDÌ	195,8	30,1
MERCOLEDÌ	216,8	23,4
GIOVEDÌ	137,6	31,5
VENERDÌ	179,0	20,9

Tabella 3.3: Dati medi visite ambulatoriali mediati per ogni giorno della settimana: la durata di una singola visita ambulatoriale assume in media valori differenti in base al giorno. Le durate sono espresse in minuti.

Giorno della settimana	Massimo numero di pazienti ambulatoriali	Durata media visita ambulatoriale
LUNEDÌ	8	30
MARTEDÌ	8	30
MERCOLEDÌ	12	20
GIOVEDÌ	8	30
VENERDÌ	12	20

Tabella 3.4: Durata media di una singola visita ambulatoriale giornaliera e massimo numero di pazienti visitabili giornalmente senza che vi siano esuberanti

### 3.2.1 Scenario 3: utilizzo secondo ambulatorio attivo e aggiunta del terzo medico

Il terzo scenario simulato all'interno del modello si inserisce partendo dallo scenario precedentemente creato [24]. Andando a simulare l'attività ambulatoriale settimanale complessiva del centro, è emerso che gli attuali 7 slot adibiti alle visite ambulatoriali in media non sono sufficienti a coprire il numero di visite attese (Tab. 3.1). Viene pertanto simulato l'inserimento di un terzo medico all'interno del centro che si occupa di attività ambulatoriali, di consulenza e della costruzione dei piani terapeutici. Queste tre tipologie di attività verranno quindi suddivise su tre medici, in modo tale da avere una maggiore distribuzione del carico di lavoro complessivo, andando anche a valorizzare l'aggiunta del nuovo ambulatorio che ora risulterà molto più significativo in quanto l'aggiunta di un terzo medico si traduce immediatamente in un ampliamento degli slot settimanali utilizzabili per le visite ambulatoriali. Al fine di quantificare la riduzione del carico di lavoro dei primi due medici dato dall'inserimento di un terzo medico e alla conseguente ripartizione e suddivisione delle attività comuni, è stato ricavato il carico di lavoro giornaliero medio per i primi due medici nel terzo scenario e confrontato con lo stesso valore ricavato dai dati originali provenienti dalle Molinette (Fig. 3.1). Nel caso del terzo scenario, il totale lavorativo medio giornaliero è di 408 minuti, a fronte dei precedenti 563 minuti ricavati dai dati iniziali, come si può osservare in Tab. 3.5.

Questa riduzione significativa è proprio l'effetto dell'aggiunta di un terzo medico: ora infatti il tempo totale che normalmente i due medici dovrebbero impiegare per completare le richieste previste dal centro (in termini di ambulatorio, consulenze e

piani terapeutici) viene ripartito su tre medici.

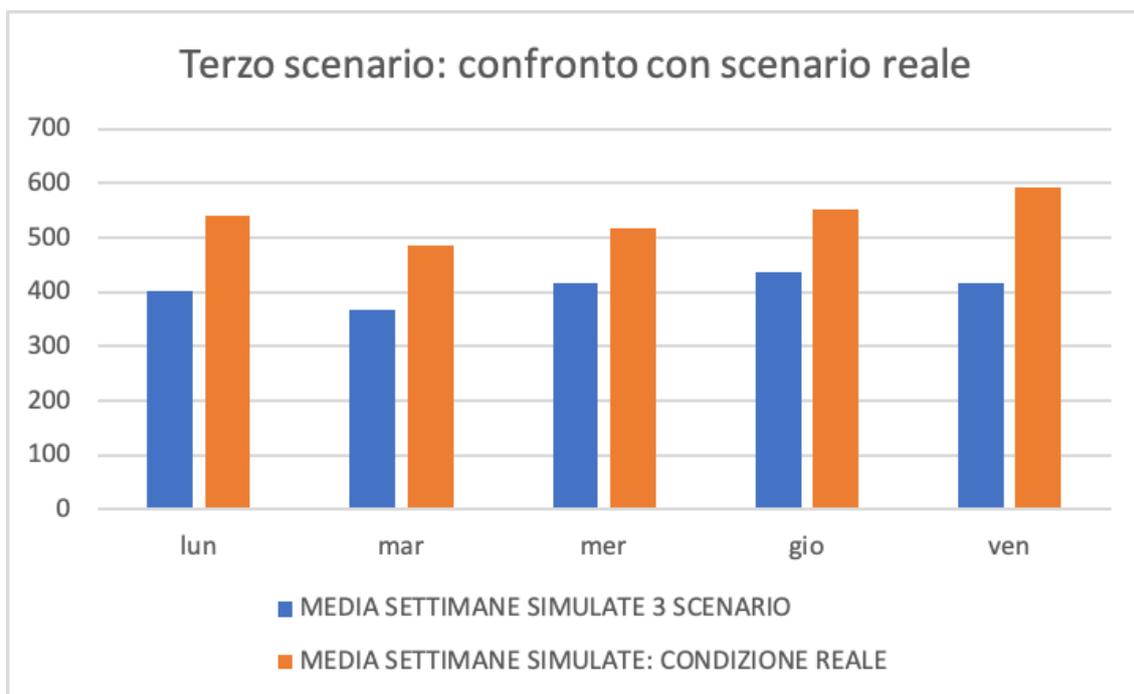


Figura 3.1: Confronto Worktime totale medio giornaliero ricavato dai dati acquisiti e dalla simulazione del 3 scenario.

SCENARIO	CARICO DI LAVORO MEDIO GIORNALIERO
Situazione reale	563 minuti
Scenario 1: 2nd amb on need	518 minuti
Scenario 2: 2nd amb always	509 minuti
Scenario 3: 2nd amb + third med	408 minuti

Tabella 3.5: Carico di lavoro giornaliero medio dei primi due medici del centro, ricavato nei vari scenari di simulazione del modello creato.

Una volta ottenuti i dati per le 10 settimane simulate mediante tutti e 3 i nuovi scenari implementati dal modello, una prima verifica è stata effettuata confrontando il carico di lavoro medio per ogni giorno della settimana con quello proveniente dalla simulazione dello scenario reale.

Osservando il grafico in Fig. 3.2 e i risultati riportati in Tab. 3.5, notiamo che in termini di carico di lavoro medio dei due medici tutti e tre gli scenari producono un netto miglioramento rispetto alla situazione reale simulata mediante il modello. Inoltre, a livello settimanale, non si rilevano sostanziali differenze tra i primi due scenari; ciò significa che l'introduzione del secondo ambulatorio all'interno della struttura comporta un beneficio in termini di carico di lavoro giornaliero, ma il differenziamento tra la sua modalità d'accesso non comporta sostanziali differenze.

Successivamente, agendo singolarmente per ognuno dei due medici iniziali, sono stati confrontati i valori medi per giorno della settimana del carico di lavoro stimato mediante le varie modalità del modello con i dati reali forniti dal centro (Fig. 3.3). Dal grafico si notano importanti differenze tra i valori provenienti dai dati simulati

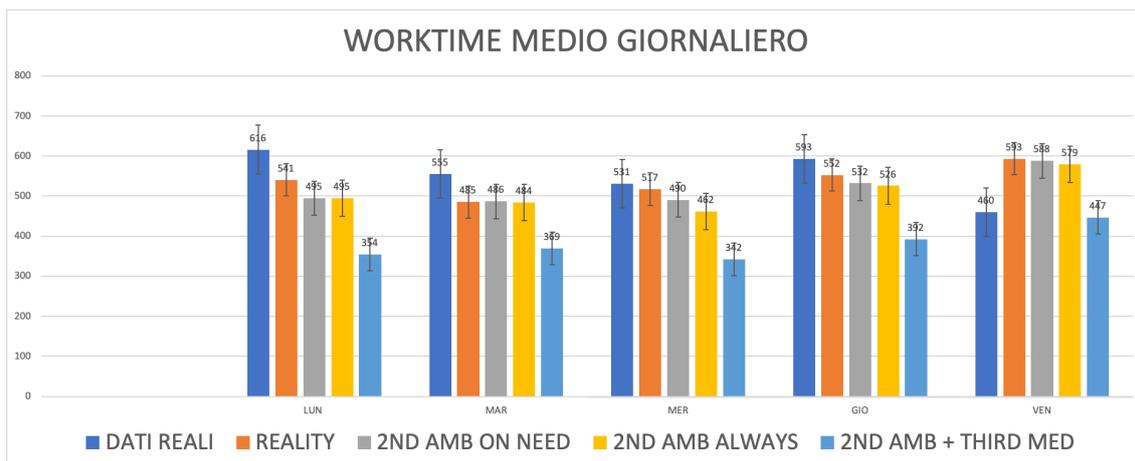


Figura 3.2: Carico medio giornaliero al variare di giorno settimanali ricavato dei dati delle Molinette e stimato mediante il modello.

e quelli provenienti dai dati reali forniti, in particolare per quanto riguarda il primo medico. Tale differenza così significativa è dovuta alla qualità dei dati inizialmente estratti dalle osservazioni delle attività del centro: sulle 4 settimane osservate, che risultano già di meno rispetto alle 10 settimane simulate dal modello nelle varie modalità, sono presenti giornate in cui non sono stati acquisiti valori (missing) a causa dell'assenza di uno dei medici dal centro per motivi legati a ferie o partecipazioni a congressi oppure a causa di altre problematiche. Inoltre per la costruzione del modello per la simulazione abbiamo tenuto conto sia delle informazioni provenienti dai dati acquisiti dal centro, sia delle informazioni provenienti dagli incontri e dalle interviste con i medici del centro in cui sono state descritte le varie operazioni; anche questa è una possibile causa del discostamento tra i dati reali e quelli simulati dal modello.

In Fig. 3.4 è possibile osservare lo stesso valore medio ricavato in precedenza ma stavolta riferito al carico di lavoro del terzo medico. Tale valore non è stato riportato insieme ai precedenti poiché quella di avere il terzo medico è una caratteristica che possiede unicamente il terzo scenario; il carico di lavoro medio per il terzo medico risulta notevolmente inferiore rispetto a quello dei primi due specialisti, ma ciò è giustificabile dal fatto che le attività di cui si occupa il terzo medico sono in numero inferiore rispetto a quelle dei primi due.

Sono stati infine confrontati i risultati in termini di carico di lavoro medio giornaliero su 10 settimane ottenuti mediante gli scenari alternativi del modello con lo scenario reale del modello stesso. La Fig. 3.5 mostra proprio il confronto tra i risultati medi ottenuti dei vari scenari: ogni scenario introdotto produce un miglioramento rispetto alla situazione reale descritta. Poiché questi risultati sono stati generati utilizzando gli stessi dati iniziali provenienti da 10 settimane reali simulate, ci permettono di capire che il modello costruito è attendibile in quanto ogni scenario simulato mostra i risultati attesi in fase di sviluppo.

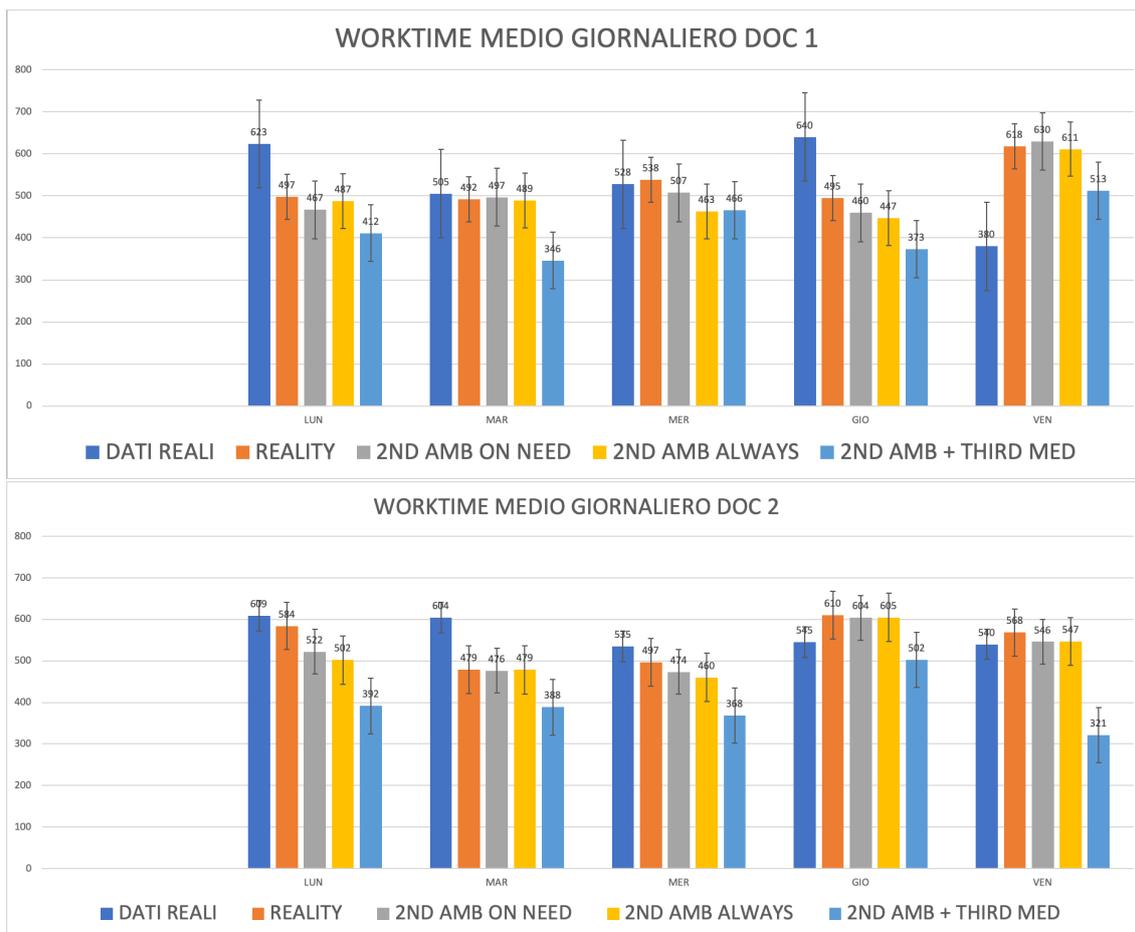


Figura 3.3: a) Carico medio giornaliero al variare di giorno settimanali del primo medico; b) Carico medio giornaliero al variare di giorno settimanali del secondo medico.

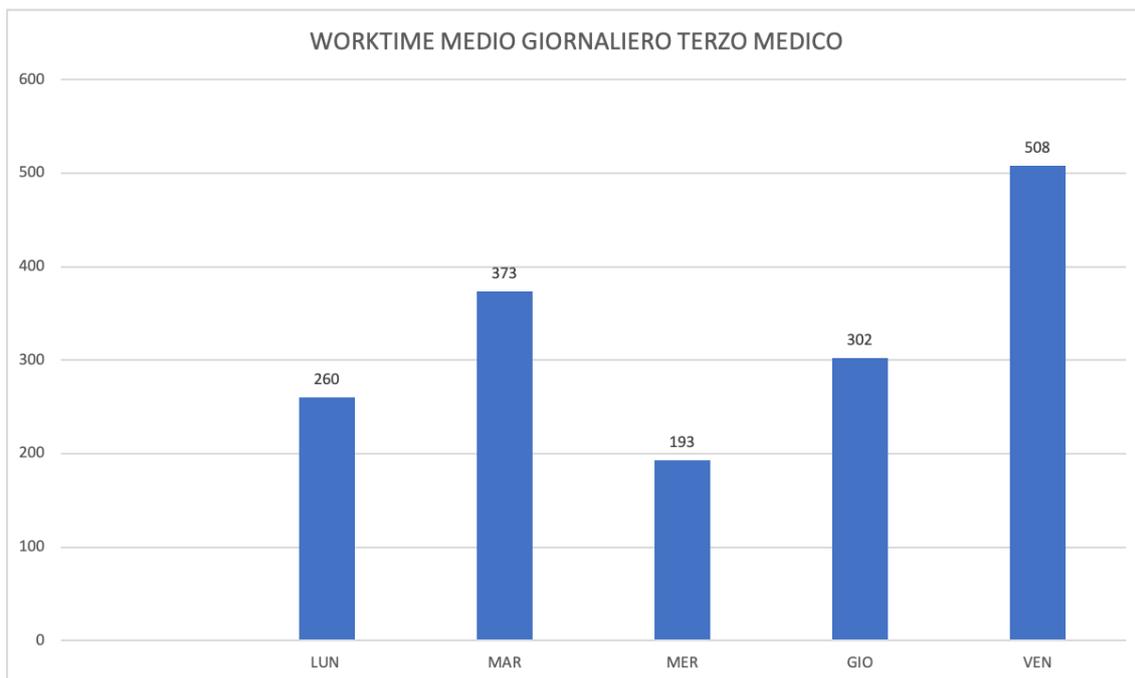


Figura 3.4: Carico medio giornaliero al variare di giorno settimanali del terzo medico stimato mediante il modello.

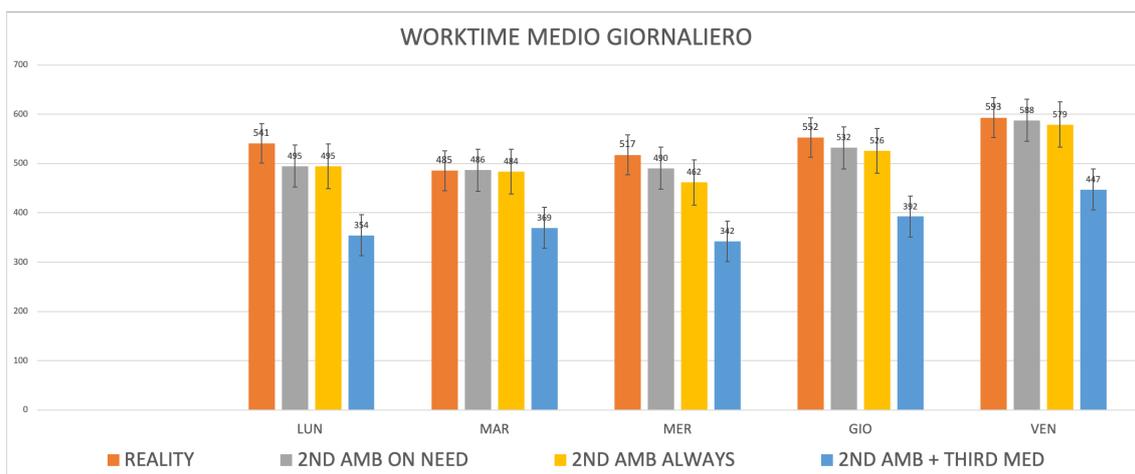


Figura 3.5: Carico medio giornaliero al variare di giorno settimanali del terzo medico stimato mediante il modello.

# Capitolo 4

## Conclusioni

Il modello di simulazione Agent-Based creato si è dimostrato un ottimo strumento per riprodurre le attività compiute all'interno del centro malattie trombotiche ed Emorragiche dell'ospedale Molinette e per testare e valutare l'impatto che eventuali modifiche organizzative apportate avrebbero sulla giornata lavorativa dei medici della struttura. Utilizzando come input lo stesso set di dati relativi a 10 settimane lavorative e generati mediante la simulazione della condizione reale di cui è provvisto il modello, i vari possibili scenari hanno presentato progressivi miglioramenti in termini di carico di lavoro giornaliero medio dei medici del centro rispetto a quelli ottenuti con lo scenario reale: dai dati risulta evidente il miglioramento introdotto nel terzo scenario, che vede l'aggiunta di un terzo medico all'interno del centro. Tale scenario però presenta al suo interno anche l'ipotesi di aggiunta di un secondo ambulatorio attivo nella struttura: emerge quindi la soluzione ottimale con cui risulta possibile, in base ai risultati medi ottenuti, ridurre il carico di lavoro dei medici del centro, evitando che esso vada oltre il massimo giornaliero prevede l'aggiunta di un nuovo ambulatorio e di un terzo medico all'interno del centro.

Confrontando i dati medi del carico di lavoro ottenuti dal modello con quelli reali acquisiti dalla struttura, vi sono alcune incongruenze: tali differenze sono dovute alla qualità dei dati reali acquisiti dal centro. Infatti questo set di dati relativo a 4 settimane lavorative presenta numerosi "missing" dovuti a giornate d'assenza dei medici e poiché il modello è costruito mediante i valori medi e le deviazioni standard ricavate proprio da questi dati, il fatto di avere dati mancanti provoca inevitabilmente difetti in fase di simulazione.

Questo lavoro in futuro procederà migliorando tale aspetto in quanto sarà necessario sostituire all'interno del modello dei valori più realistici in grado di descrivere meglio in termini medi le attività della struttura. Il prossimo step di questo progetto consisterà in una nuova fase di osservazione e di acquisizione dei dati provenienti dal centro.

# Bibliografia

- [1] Manuel Doimo. «Modello e simulazione del servizio RMN dell’ospedale dell’Angelo di Mestre (VE)». In: (2011).
- [2] Sally C Brailsford et al. «Hybrid simulation modelling in operational research: A state-of-the-art review». In: *European Journal of Operational Research* 278.3 (2019), pp. 721–737.
- [3] Mauro Sammarco. «Strumenti per la simulazione: dal” Discrete Event Simulation” all’“Agent Based Modeling”-Lo stato dell’arte attraverso lo sviluppo di casi reali e la sperimentazione delle nuove metodologie». In: (2013).
- [4] Massimo Roma. «Sistemi di Servizio e Simulazione». In: ().
- [5] Gerald Schweiger et al. «Modeling and simulation of large-scale Systems: a systematic comparison of modeling paradigms». In: *Applied Mathematics and Computation* 365 (2020), p. 124713.
- [6] Navonil Mustafee, Korina Katsaliaki e Simon JE Taylor. «Profiling literature in healthcare simulation». In: *Simulation* 86.8-9 (2010), pp. 543–558.
- [7] Chloe Walsh et al. «The 100 most cited articles on healthcare simulation: a bibliometric review». In: *Simulation in Healthcare* 13.3 (2018), pp. 211–220.
- [8] Syed Salleh et al. «Simulation modelling in healthcare: an umbrella review of systematic literature reviews». In: *PharmacoEconomics* 35.9 (2017), pp. 937–949.
- [9] Michelle Alvarado, Mark Lawley e Yan Li. «Healthcare simulation tutorial: methods, challenges, and opportunities». In: (2016), pp. 236–247.
- [10] Eric Hamrock et al. «Discrete event simulation for healthcare organizations: a tool for decision making». In: *Journal of Healthcare Management* 58.2 (2013), pp. 110–124.
- [11] Gabriella Balestra, Laura Gaetano e Daniele Puppato. «A model for simulation of Clinical Engineering Department activities». In: *2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. IEEE. 2008, pp. 5109–5112.
- [12] *Introduction to System Dynamics*. URL: <https://www.systemdynamics.org/what-is-sd>.
- [13] Mário Amorim Lopes, Álvaro Santos Almeida e Bernardo Almada-Lobo. «Forecasting the medical workforce: a stochastic agent-based simulation approach». In: *Health care management science* 21.1 (2018), pp. 52–75.
- [14] Konstantinos Domdouzis et al. «SYSTEM DYNAMICS IN HEALTHCARE: A WEB-BASED APPROACH». In: ().

- [15] Stewart Robinson. «Modelling without queues: adapting discrete-event simulation for service operations». In: *Journal of Simulation* 9.3 (2015), pp. 195–205.
- [16] J Chen. «Agent-based Modelling in Healthcare Operations: A Systematic Review of its Scope, Quality and Implementation». In: *Oxford, United Kingdom: Master's thesis, University of Oxford* (2018).
- [17] Tillal Eldabi et al. «Hybrid simulation: Historical lessons, present challenges and futures». In: *2016 Winter Simulation Conference (WSC)*. IEEE. 2016, pp. 1388–1403.
- [18] Norazura Ahmad et al. «Emergency department problems: A call for hybrid simulation». In: *Proceedings of the world congress on engineering*. Vol. 3. 2012, pp. 1–10.
- [19] Norazura Ahmad et al. «Modelling the complexity of emergency department operations using hybrid simulation». In: *International Journal of Simulation and Process Modelling* 10.4 (2015), pp. 360–371.
- [20] Sandra G Hart. «NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later». In: *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*. Vol. 50. 9. Sage publications Sage CA: Los Angeles, CA. 2006, pp. 904–908.
- [21] Eric S Williams et al. «Heavy physician workloads: impact on physician attitudes and outcomes». In: *Health Services Management Research* 20.4 (2007), pp. 261–269.
- [22] Pieter Van den Hombergh et al. «High workload and job stress are associated with lower practice performance in general practice: an observational study in 239 general practices in the Netherlands». In: *BMC Health Services Research* 9.1 (2009), pp. 1–8.
- [23] Samanta Rosati et al. «Characterization of Physicians Workload in a Reference Center for the Treatment of Thrombotic and Bleeding Disorders». In: *2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*. IEEE. 2019, pp. 1359–1362.
- [24] Noemi Giordano et al. «Agent-Based Modeling and Simulation of Care Delivery for Patients with Thrombotic and Bleeding Disorders». In: *Studies in health technology and informatics* 270 (2020), pp. 1193–1194.
- [25] *Netlogo 6.1.0*. URL: [https://ccl.northwestern.edu/netlogo/..](https://ccl.northwestern.edu/netlogo/)
- [26] *About Java*. URL: <https://www.java.com/it/about/>.
- [27] *Netlogo 6.1.0*. URL: <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/NetLogo%5C%20User%5C%20Manual.pdf..>
- [28] *Python 3.7*. URL: <http://docs.python.org/>.
- [29] *wintersimulationconference*. URL: <http://meetings2.informs.org/wordpress/wsc2019/>.
- [30] Michael Allen et al. «Simulation model». In: *Right cot, right place, right time: improving the design and organisation of neonatal care networks—a computer simulation study*. NIHR Journals Library, 2015.