



UNIVERSITÀ DI PISA

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'ENERGIA DEI SISTEMI
DEL TERRITORIO E DELLE COSTRUZIONI**

**RELAZIONE PER IL CONSEGUIMENTO DELLA
LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA GESTIONALE**

*Modellazione Algoritmica per la Pianificazione delle Attività
Chirurgiche di un'Azienda Sanitaria:
il caso del Centro Multidisciplinare di Chirurgia Robotica dell'Azienda
Ospedaliero Universitaria Pisana*

SINTESI

RELATORI

Prof. Marco Frosolini
Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale

Ing. Francesca Daga
Azienda Ospedaliero Universitaria Pisana

Dott.ssa Silvia Pagliantini
Azienda Ospedaliero Universitaria Pisana

IL CANDIDATO

Giacomo Ferrini
giacomo.ferrini@yahoo.it

Modellazione algoritmica per la Pianificazione delle Attività Chirurgiche di un'Azienda Sanitaria: il caso del Centro Multidisciplinare di Chirurgia Robotica dell'Azienda Ospedaliero Universitaria Pisana

Giacomo Ferrini

Sommario

Questa tesi è il risultato di un progetto di tirocinio presso l'U.O. Innovazione Sviluppo analisi dei processi dell'Azienda Ospedaliero Universitaria Pisana. L'obiettivo è stato quello di analizzare il processo chirurgico aziendale all'interno del Centro Multidisciplinare di Chirurgia Robotica proponendo soluzioni orientate al miglioramento complessivo della pianificazione e programmazione delle attività chirurgiche elettive. I task affrontati per efficientare la produzione chirurgica riguardano il rispetto delle scadenze per classi di priorità, la massimizzazione dei volumi prodotti dal centro clinico e l'incremento nell'uso degli spazi operatori nel rispetto dei vincoli fissati. Dopo aver ripercorso la letteratura sul tema dell'ottimizzazione della programmazione chirurgica, e a fronte delle analisi effettuate, con i vincoli imposti dall'utilizzo di una tecnologia condivisa, si è scelto di realizzare un algoritmo basato sulla definizione di slot temporali che riferisce ai principi della metodologia Setsuban Kanri, attraverso la quale si può ottenere l'aumento dell'indice delle commesse chiuse, e quindi degli interventi eseguiti, entro la data indicata/di scadenza, *l'on time delivery*.

Abstract

This thesis is the result of an internship project at the U.O. Innovation Development Process Analysis of the Azienda Ospedaliero Universitaria Pisana. The objective was to analyse the company's surgical process within the Multidisciplinary Robotics Surgery Centre, proposing solutions aimed at improving the overall planning and scheduling of elective surgical activities. The tasks addressed to make surgical production more efficient include meeting deadlines by priority classes, maximising the volumes produced by the clinical centre and increasing the use of operating space within the constraints set. After reviewing the literature on the subject of optimizing surgical scheduling, and against of the analyses carried out, with the constraints imposed by the use of a shared technology, it was decided to implement an algorithm based on the definition of time slots that refers to the principles of the Setsuban Kanri methodology, through which an increase in the index of closed orders, and thus of operations performed, within the indicated/expired date, the on-time delivery, can be achieved.

1. Obiettivo

Il tema del miglioramento e l'ottimizzazione della programmazione chirurgica è quanto di più attuale possa esserci in ambito sanitario, soprattutto in questo contesto post-pandemico. Tutte le aziende stanno affrontando il problema del recupero della lista di attesa, per tutti quegli interventi che non sono stati eseguiti e che hanno determinato l'incremento vertiginoso dei tempi di attesa, in quanto nel periodo pandemico gran parte delle risorse sono state dedicate all'emergenza covid.

Questa tesi ha come obiettivo quello di analizzare una specifica linea di produzione di un'azienda sanitaria ad alta vocazione chirurgica, quale appunto la chirurgia robotica assistita e di modellizzare delle soluzioni per migliorare le fasi di pianificazione e programmazione delle attività chirurgiche elettive.

2. Robot da Vinci

Il robot da Vinci nasce ad inizio del nuovo millennio in ambito militare e successivamente utilizzato in ambito sanitario. Visto il suo potenziale, è stato investito molto su questo progetto, rendendolo sempre più efficiente. Con la tecnologia robotica e in particolare con l'utilizzo di tecniche mininvasive tramite robot, si riesce ad ottenere interventi chirurgici in cui si ha vantaggi come minore sanguinamento, rischi di ischemia o un minor tempo necessario di degenza.

3. L'azienda e il Centro Clinico

L'Azienda Ospedaliero Universitaria Pisana, di seguito AOUP, è costituita da due stabilimenti che distano circa cinque chilometri in linea d'aria, all'interno della città di Pisa. È un'azienda orientata all'alta specialità ed è ospedale D.E.A. di secondo livello e pertanto è caratterizzata dalla presenza di percorsi sia elettivi che in urgenza/emergenza. Il modello organizzativo su cui si basa l'erogazione delle prestazioni chirurgiche è prevalentemente quello dei Centri Clinici e dei percorsi. Il Centro Clinico robotico rappresenta un Centro nel quale la tecnologia è l'elemento che condiziona l'organizzazione delle attività chirurgiche sia per l'AOUP che per l'Area Vasta Nord Ovest.

4. Il percorso chirurgico del paziente in elezione

Il percorso ospedaliero (Fig. 4.1) del paziente inizia con una visita specialistica da parte di un chirurgo, il quale potrà decidere se ritenere l'intervento necessario ai fini della cura del paziente. Se l'intervento viene confermato, il paziente viene inserito in lista di attesa.

Nell’inserimento in lista di attesa, al paziente viene assegnata una classe di priorità. La classe di priorità indica il limite temporale entro il quale deve essere operato il paziente. Le classi sono quattro, A, B, C e D, che indicano rispettivamente una scadenza di 30, 60, 180 e 365 giorni. Viene inoltre definita la patologia tramite un codice diagnostico e di intervento definito dalla “International Classification of Diseases - 9th revision – Clinical Modification” (ICD-9-CM), ogni codice è univoco ed è associato ad una determinata diagnosi e ad un determinato intervento.



Figura 4.1: Percorso ospedaliero del paziente in elezione

Successivamente, il paziente viene avviato alla fase di pre-ospedalizzazione, ove effettua il completamento degli esami diagnostici e strumentali finalizzati ad ottenere l’idoneità anestesiológica per l’intervento. Al completamento degli esami, il paziente viene definito “paziente pronto”. Durante la fase di pre-ospedalizzazione il percorso può subire dei rallentamenti qualora l’anestesista o altre figure cliniche coinvolte nel percorso richiedano ulteriori accertamenti. I pazienti “pronti” vengono quindi inseriti all’interno di una programmazione con orizzonte temporale variabile che si realizza attraverso lo strumento della nota operatoria. Nel caso del Centro Robotico la nota operatoria viene redatta settimanalmente dai chirurghi delle singole unità operative (reparti) e contiene le informazioni relative all’anagrafica dei pazienti, al tipo di diagnosi e di intervento previsto, all’equipe operatoria e al regime specifico del singolo intervento (con pernottato o day surgery). Il paziente inserito in nota operatoria sarà quindi programmato su un determinato giorno nel quale sarà svolto l’intervento chirurgico. Al termine dell’intervento il paziente potrà essere trasferito direttamente in reparto o ricoverato presso unità operative di area critica per la stabilizzazione post-chirurgica e il successivo trasferimento nel reparto di provenienza. È un processo quindi che viene tracciato all’interno di un gestionale con l’obiettivo di poter rispondere a istanze medico-legali e a esigenze di monitoraggio delle performance del percorso stesso.

5. La gestione operativa in AOUP

La gestione operativa si occupa di pianificazione degli asset di produzione, della formazione degli operatori orientata alla diffusione di una visione per processi all'interno dell'azienda con il fine di supportare la direzione a livello strategico.

Gli asset in carico al team di gestione operativa sono sale operatorie, posti letto, ambulatori e servizi di supporto. Il centro di chirurgia robotica è dotato di un proprio team di gestione operativa che afferisce al team centrale e si occupa della pianificazione e programmazione delle sale operatorie e dei posti letto riservati ai pazienti del Centro Clinico. La gestione operativa è configurata come area in staff al Direttore sanitario dal quale riceve l'indirizzo strategico. Il team si occupa di inviare ai reparti i planning relativi alla programmazione delle sale robotiche; i planning inviati riferiscono ad un orizzonte temporale di minimo un mese organizzano il tempo operatorio in sedute chirurgiche di circa 11 ore più 1 ora di chiusura sala per consentire le operazioni di risveglio dell'ultimo paziente in nota e sanificazione della sala. La gestione operativa unitamente ai reparti gestiscono la programmazione delle attività chirurgiche attraverso tre livelli decisionali distribuiti su attori diversi e momenti differenti.

6. Analisi critica dello stato dell'arte

Vengono identificati tre livelli decisionali: livello strategico, livello tattico e livello operativo. Ogni livello è caratterizzato dalla risoluzione di un problema decisionale (Cardoen et al., 2010).

A livello strategico è presente il "Case Mix Problem" (CMP) ovvero la determinazione della quantità di tempo di una sala operatoria da assegnare ad un reparto chirurgico. Il CMP ha un orizzonte temporale di mesi, al più un anno; quindi, la quantità di tempo determinato da assegnare si deve intendere come complessiva delle singole sessioni di intervento durante l'arco temporale. Il fine di questa procedura è quello di massimizzare il rapporto tra il profitto e il costo.

A livello tattico il problema da affrontare si chiama "Master Surgical Schedule Problem" (MSSP). La sua soluzione (Master Surgical Schedule) ha un orizzonte temporale che va da uno a tre mesi. La complessità di estrapolare un MSS è direttamente proporzionale alla dimensione dell'ospedale.

Come ultimo livello, abbiamo quello operativo, dove si affronta il "Surgical Case Assignment Problem" (SCAP), e la sua soluzione "Surgical Case Assignment" (SCA), che fornisce la

schedulazione degli interventi da performare in quel lasso di tempo, assegnato alla medicina specialistica afferente.

Le soluzioni proposte attualmente di risoluzione del MSSP attuano vincoli stringenti e fanno fatica a trovare una soluzione applicabile. L’algoritmo scritto sui vincoli dell’AOUP si basa sul buon senso e su tecniche di schedulazione semplici e fattibili, senza stravolgere l’attuale gestione. Inoltre, la soluzione non fatica a essere trovata nemmeno all’aumentare delle dimensioni del problema.

7. Analisi

Secondo i criteri stabiliti dal ministero le classi di priorità hanno una due date ben definita:

- Classe A - Il paziente deve essere operato entro 30 giorni dall’inserimento in lista di attesa;
- Classe B - Il paziente deve essere operato entro 60 giorni dall’inserimento in lista di attesa;
- Classe C - Il paziente deve essere operato entro 180 giorni dall’inserimento in lista di attesa.

CLASSI	% Interventi entro la <i>due date</i>					Giorni di attesa media
	2019	2020	2021	2022	media	
A	0,32	0,6	0,5	0,5	0,47	48
B	0,37	0,34	0,31	0,21	0,32	135
C	0,45	0,17	0,28	0,17	0,33	166

Tabella 7.1: Percentuale degli interventi effettuati entro la *due date* e giorni di attesa medi per classe di priorità

Le classi ministeriali sono state recentemente aggiornate. Prima di tale modifica la classe D non era definita; quindi, non è presente nelle analisi eseguite. Anche la classe C è stata aggiornata, aumentando la sua durata da 90 a 180 giorni.

Dalla Tabella 7.1 si evidenzia come persista la difficoltà di riuscire ad ottemperare alle date di scadenza imposte dalla classe di appartenenza. La differenza tra il tasso di arrivo e il tasso di servizio dei pazienti risulta negativa (Fig. 7.1); quindi, si può pensare che il sistema riesca a smaltire la lista di attesa. Purtroppo, però i pazienti non sempre vengono inseriti immediatamente in lista di attesa robotica, quindi questi valori sono falsati.

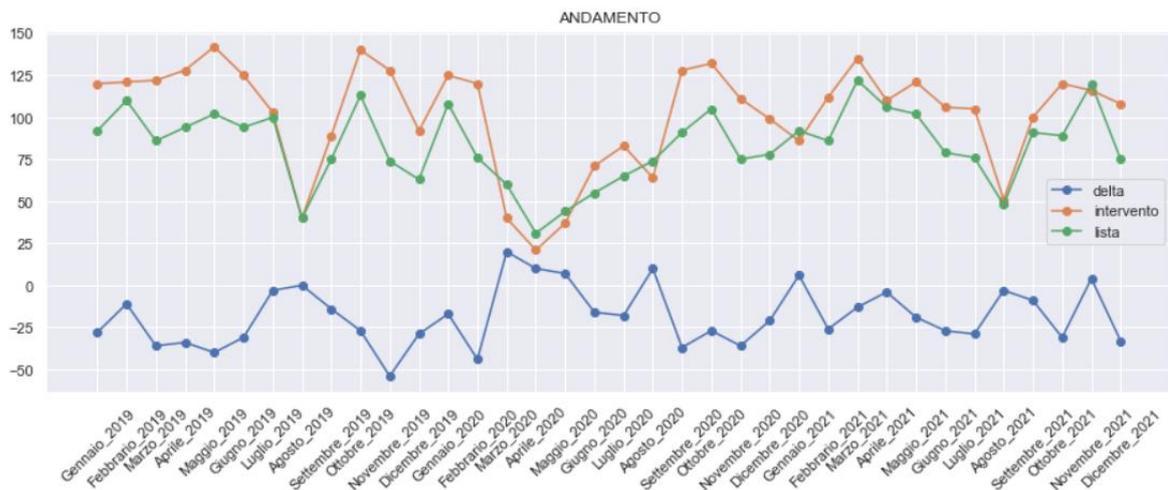


Figura 7.1: Grafico dell'andamento del tasso di arrivo e di processazione dei pazienti

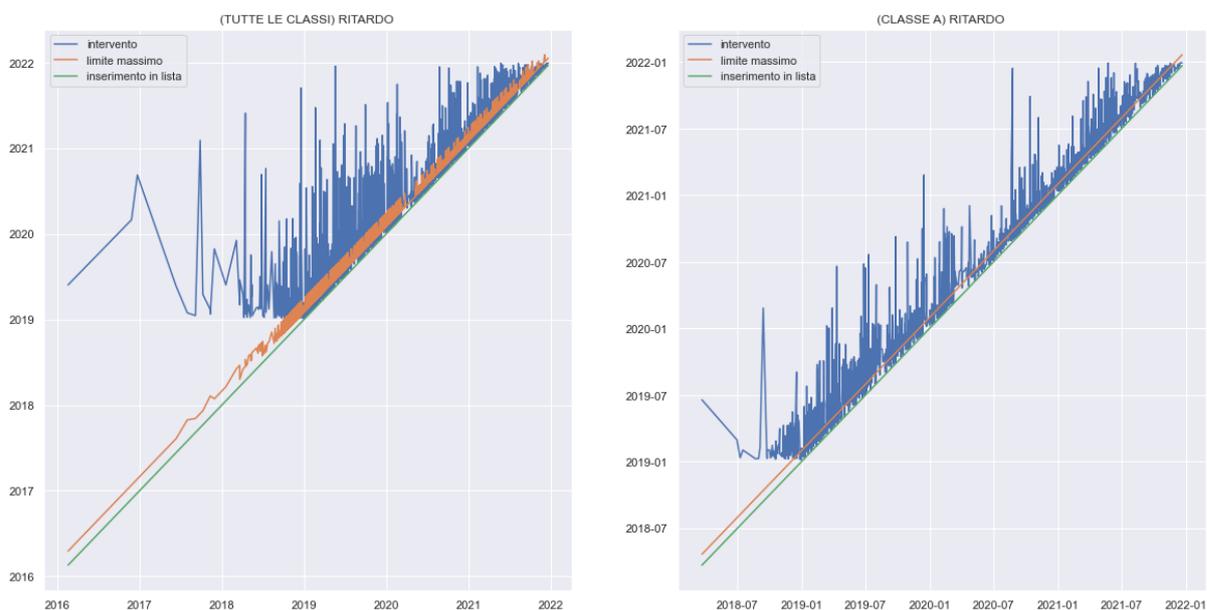


Figura 7.2: Distribuzione aggregata dell'attesa per intervento chirurgico. A sinistra sono mostrate tutte le classi di priorità, a destra solamente la classe A

Per capire se l'attesa esistente si presenti con componenti stagionali, o se sia causata da eventi specifici, si è analizzata la distribuzione aggregata del ritardo durante il triennio 2019-2021 mostrata in Figura 7.2, e quello riguardante solamente le classi A del solito periodo. Si può notare che l'attesa non risponde a nessuna logica identificabile. Perciò, si può ipotizzare che tale ritardo sia dovuto a due principali fattori:

- Il sistema di gestione;
- Il tasso di arrivo dei pazienti è maggiore del loro tasso di servizio.

Uno dei fattori principali che ha guidato la tesi è stato il tempo. Per motivi legali è necessario registrare dei tempi ben precisi a fini reportistici da esibire alla regione: l'entrata e l'uscita dal blocco operatorio, l'entrata e l'uscita dalla sala operatoria, l'inizio e la fine dell'induzione anestesologica e l'inizio e la fine della procedura chirurgica.

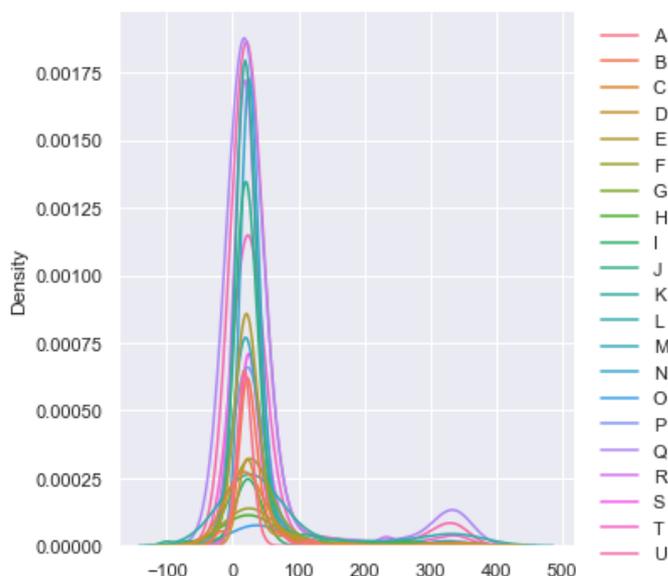


Figura 7.3: Distribuzione del tempo del primo ingresso in sala

Un tempo non registrato, ma estraibile dai dati, è il tempo di cambio sala (*turnover*). Nel tempo di *turnover* avviene la pulizia della sala operatoria e la preparazione per l'intervento successivo, se programmato. Il *turnover* misurato dai dati oscilla tra 35 e 40 minuti. Altro punto critico presente nel processo è il primo ingresso in sala operatoria. Idealmente il primo ingresso in sala dovrebbe essere alle 8:00 am, ma dal

grafico in Figura 7.3 si evince che persiste un ritardo di circa 30 minuti in media.



Figura 7.4: Istogramma che mostra la suddivisione delle fasi di sala operatoria per ogni unità operativa

I valori mostrati in Figura 7.4, sono valori medi e mostrano quanto tempo occupa ogni fase. Le fasi interessate dal processo anestesologico (sedazione in rosso e risveglio in arancione) occupano mediamente il 25% del tempo impiegato nell'occupazione della sala. Distinguendo le due fasi, quella di sedazione è quella più critica dal punto di vista dei tempi, occupando ben il 17% del tempo totale, a dispetto dell'8% occupato dalla fase del risveglio. Questa

differenza sostanziale si può giustificare per via delle attività che si svolgono. L'attività che occupa più tempo è l'intubazione del paziente, che a seconda dei suoi tratti fisici, può richiedere più o meno tempo. Infine, la fase madre del tempo di sala operatoria è l'intervento stesso (in verde, Figura 7.4) che mediamente occupa il 66% del tempo totale. Questi tempi possono essere molto diversi a causa di diversi fattori:

- La tipologia di intervento;
- Altre patologie presenti;
- Il chirurgo operante e il reparto di riferimento;
- Altre cause di varia natura.

Il 9% rimanente del tempo medio, viene utilizzato per ultimare i preparativi quando il paziente entra in sala (in viola, Figura 7.4), come il posizionamento dello stesso che avviene da sveglio oppure gli accertamenti quando si risveglia (in blu, Figura 7.4).

8. Programmazione chirurgica

La programmazione chirurgica, attualmente, avviene manualmente, senza nessuna automazione. Uno dei compiti della gestione operativa è quello di effettuare la programmazione chirurgica con un orizzonte temporale di un mese. Ciò avviene osservando la lista di attesa, definendo in base alle conoscenze pregresse, una stima del tempo necessario ai reparti per effettuare gli interventi. Effettuate queste osservazioni si assegnano gli slot temporali alle unità operative. Ogni sala presenta due slot temporali giornalieri, dalla durata ognuno di 6 ore, ovvero dalle 8:00 alle 14:00 e dalle 14:00 alle 20:00. Se ad un reparto, in un determinato giorno, viene assegnato solo uno slot, questa assegnazione si definisce come sala corta, di contro la sala lunga è quando un'unità operativa ha due slot temporali contigui nella stessa giornata. Questa attività non assegna in maniera esatta gli slot alle unità operative in modo da rispettare le date di scadenza imposte dalle classi ministeriali. Per questo si è resa necessaria la scrittura di un algoritmo che effettui una proposta di programmazione che permetta il rispetto delle scadenze.

L'algoritmo proposto è stato scritto tenendo conto delle informazioni e dei vincoli indicati dai professionisti intervistati in questo progetto di tesi.

L'algoritmo si ricollega in qualche misura ai concetti di schedulazione a blocchi espressi dal Setsuban Kanri. Si è scelta questa metodologia perché il suo utilizzo permette di rispettare con più facilità il criterio dell'*on time delivery* delle commesse e della percentuale delle commesse che si chiudono in tempo. Iniziando dalla definizione di un carico settimanale per

piattaforma robotica, si va a delineare il carico giornaliero. Il carico giornaliero delinea in modo preciso l'impossibilità che nell'arco della giornata compaiono più di due unità operative per sala operatoria, e queste due unità operative possono susseguirsi se la prima non occupa un tempo maggiore di sei ore. Dal carico giornaliero si riesce a tradurre la lista di attesa in richiesta di tempo. La conciliazione della domanda con l'offerta avviene tenendo conto della precedenza imposta dalla lista di attesa, la quale è ordinata per priorità e poi per data di scadenza e dei vincoli esistenti. Alla fine delle assegnazioni delle sale, si è reso necessario applicare un'ottimizzazione della programmazione, perché seguendo la lista di attesa si andavano ad assegnare troppe sale corte alle unità operative, che comportava una non efficienza delle piattaforme. L'ottimizzazione ha seguito il principio di migliorare l'assegnazione delle sale favorendo le sale lunghe, sempre considerando che gli interventi schedati non andassero oltre la loro data di scadenza.

	R_A_mat	R_A_pom	R_B_mat	R_B_pom	R_C_mat	R_C_pom
Lunedì	K	K	Q	Q	T	U
Martedì	A	A	A	A	U	U
Mercoledì	L	Q	U	U	T	M
Giovedì	Q	Q	U	N	T	T
Venerdì	U	T	M	M	N	N
Sabato						

Tabella 8.1: Scheda settimanale finale a seguito dell'applicazione dell'algoritmo

La Tabella 8.1 è un esempio della schedulazione ottenuto dall'utilizzo dell'algoritmo. Si è usato per la programmazione una media dei tempi dell'ultimo anno (2022) della differenza di tempo tra ingresso e uscita dalla sala operatoria del paziente, suddivisi per intervento ed unità operativa. Se non fossero presenti informazioni recenti per un determinato intervento si opera nella seguente maniera:

- Si calcola la media dei tempi degli anni precedenti al 2022;
- Se la media dei tempi degli anni precedenti non è disponibile, si assegna un tempo di sala operatoria pari a 720 minuti (12 ore).

9. Discussione

I risultati dell'algoritmo sono stati verificati ex post e validati dal team di programmazione. Tale validazione è avvenuta tramite test con la fotografia della lista di attesa in tre momenti differenti: 25 Luglio 2022, 19 Settembre 2022 e 11 Ottobre 2022. I risultati ottenuti

mostrano che il numero di interventi che si riesce a schedare è in linea rispetto alle performance attuali del centro, andando di fatto a validare l’algoritmo.

	Storico	L.A. 25-07-2022	L.A. 19-09-2022	L.A. 11-10-2022
Media mensile	120	124	118	128

Tabella 9.1: Numero di interventi assegnati teorici in tre momenti di verifica confrontati con la media storica

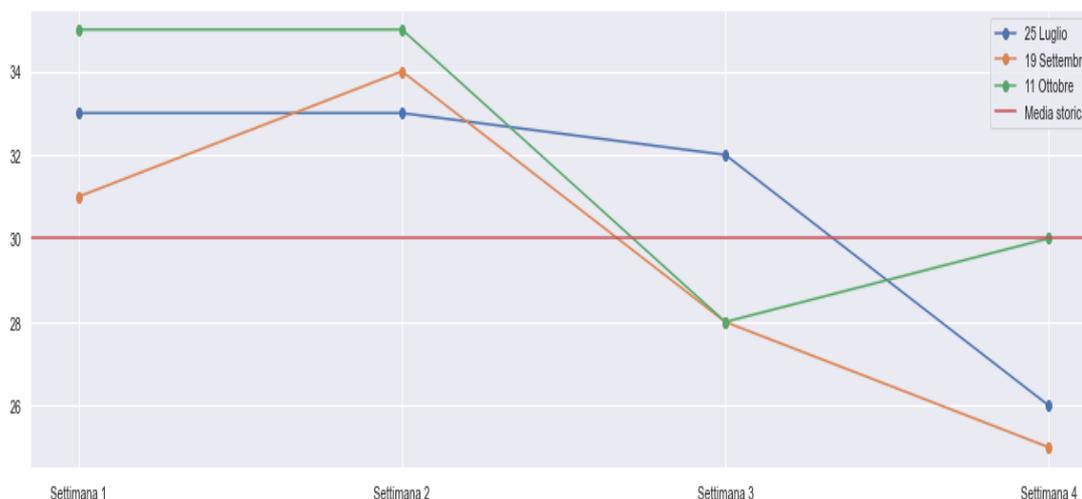


Figura 9.1: Andamento del numero di interventi settimanali assegnati in tre momenti di verifica

Se l’algoritmo avesse dato un risultato inferiore a quello odierno, significherebbe che la programmazione attuale esegue meglio l’attività in questione. Il risultato raggiunto quindi si traduce in un miglioramento del sequenziamento dell’assegnazione degli slot temporali alle unità operative, permettendo di effettuare gli interventi prima che scadano. Utilizzando come tempi le medie delle durate di sala operatoria, come conseguenza si ha un miglior tasso di utilizzo della sala. In Figura 9.1 l’andamento settimanale del numero di interventi.

	Storico	L.A. 25-07-2022	L.A. 19-09-2022	L.A. 11-10-2022
SALA A	63%	78%	80%	86%
SALA B	72%	80%	78%	84%
SALA C	69%	75%	78%	79%
Media	68%	77%	79%	83%

Tabella 9.2: Efficienza di sala nei tre momenti di verifica confrontata con lo storico

L’efficienza di sala e il numero di interventi schedati è fortemente dipendente dalle unità operative e dalla tipologia di intervento chirurgico che viene effettuato all’interno della sessione chirurgica assegnata. Se in lista di attesa sono presenti molti interventi relativamente rapidi si vedrà crescere il numero di interventi schedati e quindi un aumento

del tasso di utilizzo della sala operatoria. Inoltre, alcune unità operative possono effettuare interventi chirurgici con un tempo medio di sala operatoria che non permette l'assegnazione di un ulteriore intervento, lasciando così la sala vuota, risultando inefficiente. Anche se l'assegnazione degli interventi tramite l'algoritmo corrisponde all'effettiva traduzione della lista di attesa, i pazienti che effettivamente verranno operati nelle sessioni chirurgiche, potranno essere indicati e modificati nell'ordine esclusivamente dal clinico, che ha l'effettiva competenza per determinare lo stato di urgenza di un paziente piuttosto che un altro.

10. Conclusioni

L'obiettivo di questa tesi era quello di ottimizzare la schedulazione in maniera tale da efficientare l'utilizzo delle sale robotiche ponendo come priorità il rispetto dei tempi di attesa imposti dalle classi ministeriali. Ciò è stato raggiunto attraverso la scrittura di un algoritmo, creato basandosi sulle peculiarità dell'Azienda Ospedaliero Universitaria Pisana. Questo algoritmo permette un maggior rispetto delle scadenze delle classi, aumentando al contempo l'efficienza di utilizzo della piattaforma robotica.

A fronte dei risultati raggiunti tramite questo lavoro di tesi, il team di programmazione si è espresso positivamente pronunciandosi nella volontà di approfondire tematiche di standardizzazione dei protocolli al fine di eliminare alcune componenti di variabilità artificiale presenti nello svolgimento delle procedure chirurgiche.

Altresì il team di programmazione attraverso le analisi svolte e i risultati dimostrati ha intenzione di sviluppare una classificazione interna degli interventi più articolata e appropriata alla programmazione del tempo di sala operatoria e acquisire/sviluppare un supporto informatico che supporti il team nella pianificazione delle attività chirurgiche.