

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI
Corso di Laurea Magistrale in Matematica

Modelli di Ottimizzazione per la programmazione di sale operatorie

Tesi di Laurea in Ricerca Operativa

Relatore:

**Chiar.mo Prof.
Andrea Lodi**

Correlatori:

**Chiar.mo Prof.
Paolo Negrini**

Ing.

Paolo Tubertini

Presentata da:

Elisa Frisoni

**Prima Sessione
Anno Accademico 2011/2012**

*Ai miei genitori,
per tutto quello che siete.*

*A Luca e alle cose che ci aspettano,
posso dirti solo grazie.*

Indice

Introduzione	iii
1 Operating Theatre Planning	1
1.1 Il problema in letteratura: vari approcci	2
1.2 Master Surgical Schedule Problem and Surgical Case Assignment Problem	4
2 Modelli di ottimizzazione	9
2.1 Funzione Obiettivo: indicatori di performance	10
2.2 Vincoli e Risorse	13
3 Costruzione di un modello di ottimizzazione: uno studio teorico	19
3.1 Formulazione del problema	25
3.2 Lista dei parametri	28
3.3 Variabili decisionali	31
3.4 Modello matematico	32
3.5 Descrizione analitica del modello	36
4 Costruzione di un modello di ottimizzazione: uno studio pratico	39
4.1 Formulazione del problema: confronto con il modello teorico	42
4.2 Lista dei parametri	49
4.3 Variabili decisionali	54

4.4	Modello matematico	56
4.5	Descrizione analitica del modello	62
5	Costruzione di uno strumento di supporto alla pianificazione e interpretazione dei risultati	67
5.1	Istanze reali e interpretazione dei risultati	71
	Conclusioni e sviluppi futuri	93
	Bibliografia	99

Introduzione

La seguente tesi è l'esito di un lavoro di studio e di ricerca nell'ambito della gestione delle sale operatorie, uno dei problemi principali su cui si sono focalizzati gli studi di Ricerca Operativa, applicati ai sistemi sanitari, sviluppati nell'ultimo decennio. Ad una lunga e accurata fase di studio e analisi delle varie problematiche e dei diversi approcci applicabili, proposti in letteratura, è seguita la costruzione di due modelli di ottimizzazione per la programmazione di interventi chirurgici.

Con l'obiettivo di aumentare l'efficienza organizzativa della pianificazione delle attività chirurgiche di un presidio ospedaliero, si è dapprima sviluppato un modello matematico volto primariamente a migliorare il servizio fornito ai pazienti da parte delle strutture ospedaliere. Pur considerando principalmente l'obiettivo di ottenere pianificazioni efficienti dal punto di vista dei pazienti, in termini di tempi di attesa e di soddisfazione di un ragionevole ordine di priorità, sono stati inseriti anche obiettivi di ottimizzazione dell'organizzazione interna delle strutture ospedaliere.

Questo primo modello è stato vincolato da una serie di condizioni imposte secondo le necessità e le abitudini più comuni e frequenti di un generico presidio ospedaliero, seguendo quanto scritto nei documenti delle linee guida nazionali e regionali. E' stata dunque modellata una pianificazione volta ad un efficiente utilizzo delle varie risorse coinvolte nelle attività chirurgiche e alla soddisfazione di particolari esigenze organizzative presenti in un complesso ospedaliero. Generalmente, infatti, le diverse specialità chirurgiche afferenti ad un stesso presidio ospedaliero non ricevono e gestiscono la stessa quantità

di slot temporali per lo svolgimento degli interventi richiesti. Questo avviene, per esempio, perché un certo ospedale vanta una notevole fama per la validità dimostrata in una particolare tipologia di intervento o per le abilità e competenze dello staff chirurgico di un certo reparto o, più semplicemente, perché solitamente vi sono richieste di intervento più frequenti per alcune unità operative piuttosto che per le altre.

Per quanto riguarda i vincoli imposti per ottenere un efficiente utilizzo delle risorse coinvolte, è stata considerata la gestione dei posti letto per garantire un ricovero, qualora fosse necessario, ai pazienti che devono subire un intervento chirurgico. Problematica fortemente sentita nell'organizzazione delle attività chirurgiche da parte della maggior parte delle strutture ospedaliere, in cui abitualmente la richiesta di posti letto supera la disponibilità, la gestione dei posti letto e dei ricoveri in terapia intensiva viene trattata, nel primo modello proposto qui di seguito, in maniera differente da quanto fatto generalmente in letteratura. Viene gestita infatti anche l'esigenza di un posto letto, dei pazienti di chirurgia, nell'arco della degenza preoperatoria, a differenza della maggior parte delle ricerche presenti in letteratura che considerano la problematica dei posti letto legata al solo periodo postoperatorio. Sempre in funzione di ottenere un'efficiente utilizzo delle risorse coinvolte, nel modello considerato, si è avanzata una proposta di pianificazione del tutto innovativa rispetto alla letteratura precedente.

Tutti i pazienti di chirurgia devono sottoporsi, prima dell'intervento, ad una visita anestesiologicala di routine, volta a verificare l'effettiva capacità del paziente di sopportare un intervento chirurgico e a determinare tutte le informazioni utili a completare il quadro clinico del paziente prima dell'operazione. In base all'analisi delle cartelle cliniche, l'anestesista potrebbe richiedere, per alcuni pazienti, la consulenza da parte di vari specialisti ed è quindi necessario che la visita anestesiologicala si svolga con sufficiente anticipo rispetto alla data programmata per l'intervento, in modo da riuscire ad effettuare tutte le visite sul paziente.

Tale visita dovrebbe quindi essere pianificata in un certo intervallo di tempo

antecedente l'operazione, altrimenti un'alternativa è il ricovero anticipato del paziente da uno a quattro giorni prima dell'operazione, per poter effettuare le visite necessarie in regime ospedaliero. L'innovazione presentata in questo primo modello, rispetto a quanto trattato in letteratura, consiste appunto nel proporre una pianificazione delle visite anestesiolgiche per i pazienti che richiedono un maggior grado di approfondimento, così da evitarne il ricovero anticipato che comporta evidentemente l'occupazione non necessaria di posti letto e, dunque, costi di ospedalizzazione aggiuntivi.

Si è voluto successivamente tramutare il modello teorico in un modello pratico per testarne la correttezza e l'efficienza con istanze reali. La disponibilità del reparto di Ortopedia del Policlinico di Modena, a essere intervistati sul loro modo abituale di gestire e pianificare le attività operatorie, ha permesso di modificare il modello apportando miglione ed eliminando vincoli generali che non risultavano particolarmente rilevanti nelle pratiche del dipartimento modenese, portando così allo sviluppo di un secondo modello di ottimizzazione.

Il nuovo modello matematico preserva gli obiettivi, presenti nel modello teorico, focalizzati sul servizio fornito ai pazienti e quelli volti al miglioramento dell'organizzazione interna della struttura ospedaliera. E' stato inoltre ampliato creando un sistema di controllo della disponibilità dei pazienti nelle date programmate per gli interventi e le attività preoperatorie. La conferma o lo spostamento delle varie procedure, in caso di indisponibilità da parte dei pazienti, sono attività evidentemente indispensabili per la gestione delle pratiche chirurgiche di una struttura ospedaliera e al contempo vengono ignorate dalle altre ricerche presenti in letteratura.

Un'ulteriore innovazione, presente nel modello pratico, è la pianificazione di prelievi ematici in fase preoperatoria, per far sì che i pazienti, ritenuti idonei per età e stato clinico e che con tutta probabilità dovranno subire trasfusioni durante l'intervento, possano essere autosufficienti nel loro fabbisogno ematico, senza dover ricorrere alla banca del sangue attiva presso il presidio ospedaliero in questione. Tale iniziativa, fortemente suggerita nelle linee

guida nazionali e regionali, permette di sopperire ad una risorsa scarsa e condivisa da tutte le unità operative afferenti al Policlinico di Modena.

Nei capitoli 1 e 2 viene descritto il problema della programmazione delle sale operatorie in varie forme e vengono approfonditi gli approcci usati in letteratura, in particolar modo si distinguono, nelle ricerche che utilizzano modelli di programmazione matematica, quali sono le funzioni obiettivo più interessanti per un presidio ospedaliero e i vincoli più comuni cui sono soggetti i modelli di ottimizzazione delle varie ricerche di studio.

Nei capitoli 3 e 4 vengono riportati e descritti rispettivamente il modello di programmazione teorico e quello pratico, creati e sviluppati nel lavoro svolto per questa tesi. Nel Capitolo 5, invece, vengono riportati i risultati ottenuti dall'implementazione del secondo modello con i dati reali forniti dal reparto di Ortopedia del Policlinico di Modena.

Capitolo 1

Operating Theatre Planning

Gli elevati costi dell'assistenza sanitaria fanno sì che il settore dei servizi sanitari, nelle sue declinazioni nazionali, regionali e locali, sia in continuo cambiamento per poter ottenere un'organizzazione sempre più efficiente delle attività ospedaliere, dovendo operare con risorse limitate e al fine di fornire ai pazienti le migliori cure possibili.

La programmazione delle sale operatorie è uno dei temi più trattati negli studi di Ricerca Operativa applicati alla gestione dei sistemi sanitari (ORAHs). I reparti di chirurgia, infatti, giocano un ruolo cruciale all'interno di un presidio ospedaliero e sono proprio le attività chirurgiche che costituiscono il centro degli sforzi impiegati nella gestione di un ospedale. Questo perché la chirurgia rappresenta un costo significativo nel budget complessivo di un ospedale, dovuto al coinvolgimento diretto di risorse costose per le attività chirurgiche, ma anche all'impatto che la gestione delle sale operatorie ha sulla richiesta di altri servizi ospedalieri e sull'impiego di una moltitudine di risorse indirettamente associate.

Nell'ultimo decennio si è registrata una crescita del numero di studi di ricerca finalizzati ad un'efficace organizzazione e pianificazione delle attività chirurgiche che mirano ad una riduzione dei costi mantenendo però un buon

livello di qualità delle cure e dei trattamenti sanitari. Una miglior pianificazione e gestione delle attività chirurgiche e delle risorse direttamente e indirettamente coinvolte (Operating Theatre Planning), può quindi comportare un utilizzo più efficiente delle risorse, una riduzione dei tempi d'attesa dei pazienti e, dunque, una migliore performance complessiva del presidio ospedaliero stesso.

1.1 Il problema in letteratura: vari approcci

Gli autori di ricerche riguardanti problemi di gestione delle sale operatorie, nell'ambito della ricerca operativa, hanno sviluppato i loro studi seguendo criteri e approcci diversi tra loro. Molti problemi sono stati formulati e studiati come problemi di ottimizzazione con risoluzione esatta o euristica, altre ricerche utilizzano la simulazione, sviluppando per esempio analisi di scenari in cui si esaminano gli effetti che specifici cambiamenti nella formulazione del problema comportano sui risultati.

I diversi contributi in letteratura si differenziano anche per le tecniche risolutive, o valutative, scelte in ciascun approccio, tra queste abbiamo modelli di programmazione matematica, di simulazione e procedure analitiche.

Le varie ricerche, inoltre, si differenziano tra loro per i diversi fattori del problema stesso che ciascun autore sceglie di tenere in considerazione nel proprio lavoro.

Una prima distinzione può essere fatta tra i vari articoli e studi svolti, in base alla tipologia dei pazienti che vengono considerati nella pianificazione. In letteratura vengono considerati due classi di pazienti: elettivi e non elettivi. Vengono definiti elettivi tutti coloro che devono subire un intervento che può essere pianificato in anticipo (chirurgia elettiva), mentre i pazienti che devono sottoporsi ad un intervento inaspettato urgentemente, e quindi non programmabile in anticipo, vengono classificati come non elettivi.

Alcune ricerche distinguono, tra i pazienti elettivi, altre due categorie: gli inpatients, ovvero le persone ospedalizzate che necessitano di essere ricoverate per almeno una notte, e gli outpatients che, invece, entrano e lasciano l'ospedale nella stessa giornata in cui si svolge l'operazione. Adan e Vissers [2] sviluppano un modello di programmazione intera mista per la pianificazione di interventi elettivi, dove gli outpatients vengono trattati come inpatients che richiedono una permanenza in ospedale di una sola giornata, quella in cui si svolge appunto l'intervento.

Tra gli interventi non elettivi, invece, è possibile distinguere tra urgenze ed emergenze a seconda della tempestività con cui devono essere eseguiti in base alle condizioni del paziente. Un'emergenza indica che un paziente dev'essere operato il prima possibile, mentre un'urgenza dichiara che un altro è sufficientemente stabile da poter essere operato in seguito, ma sempre posticipando di un breve periodo.

Ovviamente la pianificazione di soli interventi elettivi è più semplice e, nelle ricerche di ottimizzazione, risulta maggiormente favorita rispetto alla trattazione anche di interventi non elettivi, a cui, invece, è associato un evidente grado di incertezza che nasce da diverse fonti come, per esempio, imprevisti dovuti all'arrivo di urgenze ed emergenze.

La maggior parte delle ricerche che trattano la sola pianificazione di interventi elettivi, propongono modelli matematici in cui vengono dedicate una o più sale operatorie per gli interventi non elettivi, oppure modelli in cui vengono riservate slot di tempo delle varie giornate per effettuare tali interventi. Wullink et al. [34] hanno esaminato quale delle due soluzioni risulti preferibile mediante la simulazione di eventi discreti, arrivando alla conclusione che l'utilizzo complessivo delle sale operatorie migliora significativamente quando la capacità riservata agli interventi non elettivi viene distribuita su più sale operatorie.

Un ulteriore elemento di distinzione tra i diversi articoli che trattano il problema della gestione delle sale operatorie, è la variabilità legata a diversi

aspetti dei servizi chirurgici. I vari approcci di pianificazione proposti in letteratura, quindi, si dividono in deterministici e stocastici a seconda che la variabilità di determinati aspetti delle attività chirurgiche vengano rispettivamente ignorati o esplicitamente incorporati nell'affrontare il problema.

Le incertezze considerate negli approcci stocastici sono quelle legate alla variabilità del flusso di arrivi di pazienti non elettivi e alla natura, di per sé stocastica, della durata degli interventi. La prima è condizionata dall'imprevedibilità dell'arrivo di urgenze o di emergenze, la seconda, invece, è determinata dal fatto che l'effettiva durata di un intervento chirurgico potrebbe non coincidere con quella presupposta al momento della pianificazione dell'operazione stessa. van Oostrum et al. [32] propongono un approccio stocastico inserendo, nel loro modello di programmazione lineare intera, dei vincoli probabilistici che richiedono che la durata totale di tutte le procedure eseguite in una giornata, in una certa sala operatoria, non superi, con una certa probabilità fissata, la capacità della sala stessa.

Si può considerare anche un certo grado di incertezza legato ad inaspettate variazioni nella capacità delle risorse che si potrebbero improvvisamente rivelare ridotte o non disponibili. Per esempio, l'arrivo inatteso di un'emergenza, potrebbe comportare l'utilizzo di una specifica sala operatoria o l'intervento di un particolare chirurgo, comportando, così, il ritardo delle operazioni programmate di chirurgia elettiva.

1.2 Master Surgical Schedule Problem and Surgical Case Assignment Problem

Dal punto di vista della Ricerca Operativa, i vari approcci al problema della gestione delle sale operatorie, si differenziano tra loro per i vari livelli decisionali a cui si riferiscono. E' possibile individuare, infatti, una gerarchia di livelli decisionali su cui possono svilupparsi le diverse ricerche. Le fasi di

tale gerarchia sono concatenate tra loro e sono caratterizzate da un orizzonte temporale d'analisi via via più ristretto e da un sempre maggiore grado di dettaglio.

Al più alto livello decisionale si ha una pianificazione strategica, caratterizzata da decisioni riguardanti obiettivi a lungo termine, pluriennali, quali il numero di sale operatorie che andranno costruite, le tipologie e le quantità di apparecchi e strumenti tecnici che dovranno essere acquistati e il numero, presumibilmente necessario, di professionisti che compongono lo staff chirurgico.

Tipicamente basata su previsioni e dati storici, la pianificazione strategica, può prevedere anche la determinazione del quantitativo di interventi, delle varie tipologie, che si desidera effettuare in un fissato lasso di tempo. Adan e Vissers [2], per esempio, raggruppano i pazienti da operare in categorie, in base alle esigenze che li accomunano (durata dell'ospedalizzazione, ricovero in terapia intensiva in seguito all'operazione, ...) e intendono determinare nella loro ricerca, oltre al numero di persone che andranno operate nell'orizzonte temporale prestabilito, anche il volume di pazienti di ciascuna categoria.

Una volta definito il numero di sale operatorie disponibili, il problema generale di pianificazione delle attività chirurgiche, può essere considerato come costituito da due problemi correlati. Il primo, noto in letteratura come Master Surgical Schedule Problem (MSSP), si pone ad un livello decisionale tattico: grado di pianificazione caratterizzato da decisioni aventi obiettivi a medio termine, generalmente annuali.

Il MSSP si pone il problema di distribuire il tempo complessivo disponibile per ogni sala operatoria tra le diverse unità operative presso il presidio ospedaliero in analisi. Testi et al. [30] propongono una ricerca a tre fasi in cui sviluppano una Master Surgical Schedule, intesa come un programma ciclico che determina l'associazione delle varie combinazioni sala operatoria-giorno (o porzione di giornata) a ciascuna unità chirurgica.

Dato il numero di blocchi di tempo, su un determinato orizzonte temporale, e il numero di sale operatorie, dunque, la MSS definisce i blocchi di tempo, di ogni singola giornata, assegnati a ciascuna specialità chirurgica in una particolare sala operatoria.

La progettazione di una MSS settimanale dovrà tenere in considerazione restrizioni come la disponibilità dei chirurghi nei vari giorni della settimana (tra i blocchi di tempo assegnati ad un chirurgo andranno esclusi quelli in cui è impegnato con lezioni universitarie o impegni lavorativi di altro genere), il numero di equipe afferenti alle diverse specialità chirurgiche (Testi et al. [30]), la capacità o la tipologia delle varie sale operatorie (Chaabane et al. [5]), i vincoli legali che pongono condizioni sul numero massimo di ore di interventi che può fare ciascun chirurgo (Guinet et al. [10]) e così via.

In genere, in letteratura, viene presa in considerazione la definizione di una MSS settimanale, solitamente ciclica e a validità annuale, piuttosto che proporre un'allocazione differente per ogni settimana, approccio che, sebbene più flessibile rispetto all'evolversi delle liste d'attesa, risulta scarsamente riscontrabile nelle pratiche organizzative correnti.

In letteratura si distinguono anche ricerche che si propongono di risolvere problemi a livello operativo, fase decisionale caratterizzata da obiettivi a breve termine: settimanali o giornalieri.

Testi e Tanfani [29] propongono due serie di risultati ottenuti nella loro ricerca: il primo tipo consiste nella pianificazione settimanale delle attività di sala operatoria in base alle risorse date (decisione operativa), mentre il secondo tipo di risultati è costituito dalle soluzioni ottenute da un'analisi di scenario "what if" che considera l'impatto che l'aumento della quantità di ore disponibili delle sale operatorie comporta sull'intera struttura ospedaliera (decisione tattica).

Il secondo problema che viene trattato in letteratura, prende il nome di Surgical Case Assignment Problem (SCAP) e si sviluppa ad un livello decisionale ibrido tra tattico ed operativo, determinando una pianificazione con

maggiore grado di dettaglio rispetto al MSSP. Tale problema, trattato per esempio nei testi di Guinet e Chaabane [10] e di Conforti et al. [6], si pone di determinare quali sottoinsiemi di pazienti si vuole che vengano operati in ciascun blocco di tempo assegnato all'unità operativa afferente. Adan e Vissers [2], in base alla suddivisione dei pazienti in diverse categorie, determinano quanti pazienti, di ciascuna classe, devono essere operati ogni giorno per ottenere il profilo di accettazione migliore dei pazienti, secondo vari obiettivi. Riise et al. [13], per determinare quali pazienti operare in ciascuna giornata, si servono del fatto che, nell'ospedale norvegese a cui si riferisce la ricerca, vengono ripartiti i blocchi di tempo disponibili in ciascuna sala operatoria, tra le varie specialità chirurgiche, mediante una MSS creata o aggiustata più volte all'anno come risultato dei cambiamenti nei budget dell'ospedale o nella disponibilità dell'equipe chirurgica. Riise et al., si servono della MSS in uso nell'ospedale, per verificare che gli interventi della lista d'attesa di un particolare medico, vengano pianificati esattamente nelle sale operatorie e nelle giornate che erano state pre-assegnate dalla MSS al chirurgo stesso. Lo SCAP, anche detto Admission Planning Problem (APP), determina quindi, una volta assegnati i diversi blocchi di tempo alle varie unità chirurgiche, la numerosità, la tipologia e l'identificazione dei pazienti della lista d'attesa della specialità chirurgica in analisi, devono essere ammessi alla lista degli interventi da pianificare nell'orizzonte di tempo considerato. Nell'Admission Planning Problem, la selezione dei pazienti, i cui interventi verranno pianificati nell'orizzonte di tempo in analisi, dovrà tener conto di fattori quali la priorità, determinata in base al suo stato clinico al momento della pianificazione, e il tempo di permanenza nella lista d'attesa (Testi et al. [29]), la disponibilità delle risorse di cui necessita in degenza pre e postoperatoria (Vissers et al. [33]), la disponibilità del paziente e del chirurgo ad eseguire l'operazione nel giorno pianificato (Tanfani et al. [28]), il tipo di intervento che deve subire e da quale chirurgo dev'essere eseguito (Riise et al. [13]), del numero di interventi che possono essere effettuati in ciascuna sala operatoria in ciascun giorno (capacità della sala operatoria) e così via.

L'elemento che differenzia in modo veramente significativo i vari articoli e approcci al problema è la scelta degli obiettivi che ci si prefigge di raggiungere con la ricerca trattata e quali, tra le risorse coinvolte nelle attività chirurgiche, vengono considerate critiche per la loro disponibilità in rapporto alla richiesta che ne viene fatta.

Capitolo 2

Modelli di ottimizzazione

Nella maggior parte degli articoli che trattano il problema della gestione delle sale operatorie, affrontate secondo un approccio di ottimizzazione combinatoria, in aggiunta al modello matematico sviluppato per risolvere la pianificazione delle attività chirurgiche, si riportano le caratteristiche peculiari dei presidi ospedalieri cui le ricerche fanno riferimento.

L'obiettivo di tali modelli è ovviamente quello di definire la miglior gestione possibile delle sale operatorie. Per poter definire cosa significa che una determinata pianificazione è la migliore o è più efficiente di altre, è necessario che vengano identificati gli indicatori di performance che si stanno considerando in ciascuna ricerca.

E' possibile identificare due categorie di obiettivi tenuti in considerazione nelle varie ricerche. La prima è rappresentata da quegli obiettivi volti al miglioramento del servizio fornito al paziente, molti studi, per esempio, ricercano la riduzione dei tempi di attesa o elaborano pianificazioni che seguano un criterio di priorità dei pazienti basato sul loro stato clinico al momento dell'inserimento in lista d'attesa.

La seconda classe è costituita da obiettivi focalizzati, invece, sull'efficienza dell'organizzazione interna della struttura ospedaliera. In questa categoria rientrano gli scopi di ricerche che puntano a minimizzare i costi legati alle attività chirurgiche o ad un'efficiente utilizzo e distribuzione delle varie risorse

coinvolte.

Vi sono inoltre obiettivi come la soddisfazione di target sul volume di pazienti operati da ciascuna specialità chirurgica che, sebbene rientrino nella categoria degli scopi volti al miglioramento dell'organizzazione interna del presidio ospedaliero, influenzano indirettamente anche il miglioramento della soddisfazione dei pazienti in lista d'attesa.

2.1 Funzione Obiettivo: indicatori di performance

Per valutare le varie procedure di pianificazione e determinare, quindi, le più efficienti, vengono usati in letteratura diversi criteri.

Le lunghe liste d'attesa sono uno dei problemi più comuni e denunciati nei servizi sanitari, il che giustifica la grande quantità di studi che mirano a diminuire i tempi di attesa dei pazienti per aumentarne il grado di soddisfazione. Nelle ricerche proposte da Tanfani et al. [28] e da Riise et al. [13] ci si pone l'obiettivo di migliorare l'efficienza complessiva della pianificazione, minimizzando appunto i tempi di attesa dei pazienti.

Riise et al., inoltre, considerano come ulteriore elemento da minimizzare nella funzione obiettivo del modello presentato, il tempo di attesa a digiuno dei bambini sotto una certa età, prima di poter essere operati. Questo è un chiaro esempio di come, i vari approcci al problema e i vari modelli, possano diversificarsi in base agli obiettivi che si considerano e di come gli elementi che compongono le diverse funzioni obiettivo possano essere spesso suggeriti da particolari esigenze o preferenze dell'eventuale presidio ospedaliero che fornisce i dati su cui si basa la ricerca.

Un obiettivo strettamente legato ai tempi d'attesa dei pazienti è quello della produttività. L'obiettivo, cioè, è quello di aumentare il numero di pazienti

trattati, che quindi comporta indirettamente dei tempi d'attesa più brevi. In questo ambito Conforti et al. [6] propongono un modello che mira a massimizzare il numero di pazienti che possono essere ospedalizzati in seguito alla pianificazione di tutti i test clinici che gli sono stati prescritti.

L'aumento del rendimento di pazienti trattati, può essere ottenuto anche richiedendo, in ciascuna giornata e in ciascuna sala operatoria, delle sequenze di interventi più dense. Questo può essere ottenuto, per esempio, mediante la riduzione dei tempi di inattività tra un intervento e il successivo, che corrisponde anche a minimizzare i tempi d'attesa dei chirurghi, risorsa peraltro molto costosa.

van Oostrum et al. [32], invece, addensano gli interventi richiedendo la minimizzazione della capacità delle sale operatorie. Tale richiesta, ovviamente, non mira ad un aumento della produttività, ma piuttosto punta ad evitare un sotto utilizzo delle sale operatorie, concentrando gli interventi pianificati per una certa giornata, su un orario ridotto di apertura delle sale operatorie, evitando, così, tempi morti tra un'operazione e l'altra.

Uno degli indicatori di performance più usati, nei vari approcci, è l'utilizzo delle varie risorse coinvolte nelle attività chirurgiche, che punta ad un miglioramento nell'efficienza dell'organizzazione delle attività ospedaliere.

Vissers et al. [33] sviluppano un modello di programmazione lineare intera mirato a minimizzare la deviazione tra il target di utilizzo delle risorse (letti, staff infermieristico, ecc.) e il loro uso effettivo, mantenendo soddisfatto l'obiettivo sul volume di pazienti operati nell'unità di chirurgia cardiotoracica. L'utilizzo delle risorse è un criterio applicato in termini di sotto utilizzo in alcuni modelli, come visto nel lavoro di van Oostrum et al. [32], ma più frequentemente viene considerato in termini di sovra utilizzo. A tale proposito, un obiettivo largamente diffuso in letteratura è quello di minimizzare gli overtime, ovvero le ore di straordinari che i chirurghi, gli assistenti e gli infermieri fanno rispetto al loro normale orario di lavoro e rispetto agli orari di apertura soliti delle sale operatorie.

Alcune ricerche prevedono pianificazioni che programmano, in ogni sala operatoria, al più tanti interventi quant'è il numero massimo consentito, determinato in base all'orario solito di apertura delle sale operatorie, nelle varie giornate dell'orizzonte temporale in analisi. In altri modelli, invece, è consentito eccedere tale limite, programmando operazioni oltre l'orario regolare di lavoro dello staff chirurgico. La scelta di effettuare interventi in overtime, potrebbe rivelarsi più vantaggiosa, in termini di valore della funzione obiettivo, piuttosto che posticipare tali operazioni al giorno successivo, facendo così aumentare il tempo d'attesa dei relativi pazienti.

D'altro canto, tenere una sala operatoria aperta oltre l'orario standard e pagare allo staff chirurgico ore di straordinari, è molto costoso e per questo, il numero di interventi pianificati oltre l'orario regolare, va contenuto. Riise et al. [13], infatti, oltre ai tempi d'attesa dei pazienti e dei bambini, inseriscono in funzione obiettivo le ore di straordinari effettuate dai chirurghi con lo scopo di minimizzarli.

La diminuzione degli overtime è frequentemente trattata in letteratura e, oltre ad avere lo scopo di ridurre i costi per la struttura ospedaliera e di non dilatare le ore di straordinari dello staff chirurgico, può essere intesa come mirata a livellare una risorsa facendo in modo che, il carico di lavoro del personale chirurgico e il livello di occupazione delle sale operatorie, vengano distribuiti tra i vari giorni dell'orizzonte di tempo in analisi.

Il livellamento delle risorse è un obiettivo importante per la gestione delle sale operatorie che mira ad evitare la formazione di picchi nella richiesta di una risorsa, al fine di ottenere una più efficiente organizzazione dell'utilizzo delle risorse ospedaliere. van Oostrum et al. [32] propongono la costruzione di una MSS che livelli la richiesta di letti d'ospedale, così da evitare che una delle risorse coinvolte nelle attività chirurgiche possa risultare satura.

Evitare picchi nell'occupazione di una risorsa, significa minimizzare il rischio che si verifichino problemi legati alla capacità della risorsa stessa, dovuti a eventi inaspettati come l'arrivo di emergenze o urgenze o procedure chirur-

giche e ricoveri di pazienti che durano più del previsto.

Gli overtime, inoltre, comportano, come già detto, un aumento dei costi delle attività chirurgiche dovuti al pagamento di ore aggiuntive del personale infermieristico e chirurgico e al mantenimento di una sala operatoria aperta oltre l'orario regolare. La riduzione degli interventi in overtime, quindi, può essere richiesta nel modello di ottimizzazione anche per raggiungere obiettivi finanziari.

Gli obiettivi economici sono i più trascurati tra quelli trattati, ma sono forse i più generali. Grazie ad una pianificazione che comporta un risparmio economico, infatti, si ha la possibilità di investire il denaro ricavato per raggiungere altri obiettivi già citati. Investirlo per aumentare la capacità di certe risorse, per esempio, potrebbe migliorare il problema delle liste d'attesa troppo lunghe.

Gli ospedali pubblici e privati hanno il dovere di fornire servizi al più alto livello di qualità, per questo, le scelte manageriali per ridurre i costi delle procedure chirurgiche devono dipendere solo dai parametri di controllo che possono essere usati nella gestione. La diminuzione delle spese chirurgiche può essere ottenuta riducendo gli overtime o il sotto utilizzo delle varie risorse, diminuendo per esempio i tempi di attesa dei chirurghi tra un intervento e l'altro, e così via. Chaabane et al. [5] costruiscono un modello lineare che punta alla riduzione dei costi degli interventi chirurgici. A tale scopo, minimizzano la permanenza dei pazienti e gli overtime, ottenendo una riduzione rispettivamente dei costi di ospedalizzazione dei pazienti e dei costi di apertura delle sale operatorie.

2.2 Vincoli e Risorse

Si potrebbe pensare che, il problema della gestione delle sale operatorie, sia risolvibile semplicemente mediante l'allocazione, a ciascuna unità chirur-

gica, delle slot temporali delle giornate in analisi e dell'insieme di pazienti, iscritti alla lista d'attesa della specialità considerata, che devono essere operati in tali slot. In realtà, questo non è l'unico problema da considerare nella programmazione delle sale operatorie. Un modello di ottimizzazione volto a determinare un'efficiente pianificazione delle procedure chirurgiche, infatti, deve necessariamente essere sottoposto a determinati vincoli che non possono essere ignorati nella gestione delle sale operatorie. Questo perché, oltre ai reparti chirurgici, sono coinvolte anche molte altre strutture in tale pianificazione, come le unità di terapia intensiva e i vari reparti per il ricovero; le decisioni di programmazione, dunque, devono soddisfare una serie di vincoli legati all'uso di risorse coinvolte sia direttamente, ma anche indirettamente. Nel modello proposto da Vissers et al. [2], in cui vengono programmati interventi elettivi in modo che la deviazione tra il target di utilizzo delle risorse e il loro uso effettivo risulti minimizzato, viene richiesto che l'utilizzo reale di ciascuna risorsa considerata nella ricerca (sale operatorie, letti, letti di terapia intensiva e infermieri) non superi la capacità disponibile. Molte risorse umane e materiali coinvolte nelle attività chirurgiche, infatti, sono soggette a capacità limitate ed è quindi necessario che in ciascuna ricerca vengano individuate quali, tra le risorse coinvolte, siano critiche per la pianificazione (in base, per esempio, alle informazioni fornite dall'eventuale presidio ospedaliero di riferimento). Una risorsa è considerata critica quando la relativa capacità rappresenta un collo di bottiglia che vincola la pianificazione. Un importante passo per controllare il sistema sanitario, dunque, è predire e pianificare l'uso di risorse materiali come le sale operatorie, i letti, gli apparecchi e la strumentazione tecnica e l'impiego di medici specialisti ed infermieri.

Tra le risorse direttamente coinvolte nelle procedure chirurgiche vi sono naturalmente le sale operatorie, risorsa condivisa dalle varie specialità chirurgiche. Chaabane et al. [5] confrontano due metodi di pianificazione delle sale operatorie. Il primo modello analizzato prevede dei vincoli in cui si richiede che

per ogni sala operatoria, in ciascun giorno, la somma delle ore di interventi assegnate a tutte le specialità chirurgiche sia inferiore alla capacità della sala stessa.

Nel secondo modello, invece, Chaabane et al., definiscono ammissibile anche una pianificazione che preveda di operare per un numero di ore maggiore della capacità della sala operatoria. Distinguendo tra interventi eseguiti in orario regolare e quelli effettuati in orario supplementare, viene vincolata la durata complessiva di tutte le operazioni, svolte in entrambi gli orari, ad essere inferiore al numero di ore rese disponibili in ciascuna giornata rispettivamente in orario regolare e in overtime.

Vincoli simili sono presenti nell'approccio a tre fasi di Testi et al. [30], in particolare nella prima fase in cui viene risolto un problema di tipo bin-packing per determinare il numero di sessioni temporali che devono essere programmate settimanalmente per ciascuna specialità chirurgica. Il modello costruito in questa prima fase è vincolato dalla capacità delle sale operatorie e dagli overtime consentiti nell'arco dell'intera settimana di pianificazione.

Un'altra risorsa direttamente coinvolta nelle attività svolte in sale operatorie è quella costituita dallo staff chirurgico. Chaabane et al. [5] verificano la disponibilità di tale risorsa richiedendo che, in ciascuna giornata, vengano effettuati interventi, di una determinata specialità, solo se vi è almeno un chirurgo, di tale unità operativa, disponibile ad eseguirli.

Analogamente Riise et al. [13], che nella loro ricerca si impegnano a determinare anche gli orari di inizio di ciascun intervento, vincolano le operazioni ad essere pianificate non prima che il relativo chirurgo entri in servizio. Riise et al., inoltre, inseriscono un vincolo molto comune nei diversi modelli di ottimizzazione presenti in letteratura: si impone che la pianificazione non risulti inammissibile in un contesto reale, impedendo la pianificazione di più interventi di uno stesso chirurgo nel medesimo periodo.

L'inserimento di un vincolo che eviti conflitti nell'impiego di una risorsa, è previsto anche nei modelli di Testi et al. ([28], [29] e [30]), nei quali viene

imposto che, in un qualsiasi periodo di una giornata, ad una certa specialità non possano essere associate più sale operatorie di quante non possano essere coperte dalle squadre chirurgiche afferenti alla specialità stessa.

Un esempio di risorsa coinvolta indirettamente nei processi chirurgici, ma molto vincolante per la loro pianificazione, è costituita dai posti letto dei vari reparti per i ricoveri. Se infatti non vi sono letti disponibili dopo un intervento, le procedure di ricovero, dovendo iniziare in sala operatoria, ritardano gli interventi successivi. L'impossibilità di programmare la degenza postoperatoria, dunque, impedisce la pianificazione di interventi futuri.

Per questo in numerose ricerche si procede con la pianificazione di un intervento solo nel momento in cui si ha la disponibilità di un letto per poter accogliere il paziente durante la sua degenza postoperatoria. Tanfani et al. [28], per esempio, limitano il numero di pazienti che possono essere operati in una giornata, in base al numero dei letti disponibili in quella stessa giornata, ovvero in base alla capacità della risorsa e al numero di letti già occupati da pazienti operati nelle giornate precedenti, ma ancora ricoverati in ospedale. Nello stesso articolo, Tanfani et al., inserendo un ulteriore vincolo di capacità, verificano la disponibilità anche dei letti di terapia intensiva, limitando così la pianificazione degli interventi di quei pazienti che impiegheranno tale risorsa in seguito all'operazione.

L'uso delle risorse coinvolte indirettamente nella pianificazione delle attività chirurgiche, dipende strettamente dalla patologia di ciascun paziente, la quale definisce i servizi di cui ognuno ha bisogno. Conforti et al. [6] consentono l'ammissione in ospedale di un paziente di chirurgia solo quando tutti gli esami clinici, a cui deve sottoporsi prima dell'intervento, sono stati pianificati nella settimana in analisi. Tale pianificazione, e di conseguenza l'ammissione dei pazienti, è evidentemente vincolata, in un contesto reale, dalla capacità di tutti i servizi clinici a cui i pazienti devono sottoporsi.

In letteratura, i vincoli più comuni a cui sono soggetti i diversi modelli di

ottimizzazione, sono appunto quelli riguardanti la capacità delle varie risorse coinvolte. Vi sono inoltre vincoli di altra natura che spesso riguardano comunque limiti legati alle risorse in uso. Per esempio, vincoli “politici”, interni alla struttura ospedaliera in analisi, impongono un lower e un upper bound che condizionano il numero di blocchi di tempo che possono essere assegnati a ciascuna specialità (vedi Chaabane et al. [5]). Testi et al. [29], inoltre, pongono ulteriori vincoli che regolano l’assegnazione delle sessioni alle diverse unità operative, in base alla lunghezza delle relative liste d’attesa. Tale vincolo è però compensato dall’inserimento di un numero minimo di sessioni che devono essere assegnate a ciascuna specialità chirurgica, in modo da evitare che, unità con pochi pazienti in lista d’attesa, non eseguano alcuna operazione per intere settimane.

Possono essere inseriti anche vincoli legali, come nella ricerca di Guinet et al. [10], che fissano come limitazione il numero massimo di ore di intervento che un chirurgo può eseguire in una giornata.

Vissers et al. [2] inseriscono anche vincoli specifici legati a richieste da parte della specialità in analisi. L’unità di Ortopedia del presidio ospedaliero di riferimento, nella ricerca di Vissers et al., per esempio, richiede che pazienti che necessitano di una degenza postoperatoria superiore ai cinque giorni, possono essere operati solo il lunedì della settimana in analisi, in modo che possano essere dimessi prima del weekend.

Alcune ricerche presenti in letteratura, come van Oostrum et al. [32], Chaabane et al.[5] e Guinet et al. [10], impongono nel modello che vengano pianificati obbligatoriamente tutti gli interventi. Un approccio più realistico è invece adottato da Riise et al. [13] e da Tanfani et al. [28] che, considerando l’ipotesi verosimile di non riuscire a operare tutti i pazienti in lista d’attesa nel periodo di tempo fissato, ammettono la possibilità di poter posticipare parte degli interventi oltre l’orizzonte considerato.

Capitolo 3

Costruzione di un modello di ottimizzazione: uno studio teorico

Nell'elaborazione di questa tesi, svoltasi sotto la guida e la supervisione del Prof. Andrea Lodi e dell'Ing. Paolo Tubertini, si è lavorato alla costruzione di un modello di ottimizzazione per la programmazione delle sale operatorie. Gli obiettivi che ci si è posti sono la definizione di quali sale operatorie, in ciascuna giornata, devono essere assegnate alle varie unità operative e la determinazione, per ognuna di queste combinazioni (sala operatoria-giornata-specialità chirurgica), di quali pazienti, di chirurgia elettiva, devono essere operati. Si tratta, dunque, della costruzione e risoluzione di un vero e proprio problema di surgical case assignment che richiede la gestione sia delle assegnazioni delle sale operatorie e delle giornate, dell'orizzonte temporale considerato, a ciascuna unità operativa, sia delle ammissioni dei pazienti nella lista degli interventi da effettuare. L'orizzonte temporale, considerato nel modello matematico per la pianificazione degli interventi, seguendo quanto avviene abitualmente nei presidi ospedalieri, è stato fissato ad una settimana, o più precisamente, a cinque giorni, escludendo così il sabato e la domenica dai giorni disponibili per svolgere gli interventi.

Nonostante il modello di ottimizzazione qui proposto nasca come modello teorico, è stato costruito col desiderio e l'intenzione di ottenere una pianificazione il più possibile vicina alle esigenze e alle problematiche di presidi ospedalieri reali. Gli elementi in funzione obiettivo e i vincoli cui è soggetto il modello, quindi, si basano sull'analisi e lo studio dei dati resi pubblici da strutture ospedaliere reali.

I documenti più formalizzati che sono stati trovati in fase di ricerca sono le linee guida dell'ospedale "Maurizio Bufalini" di Cesena. Alcune informazioni tratte in tali documenti vengono riportate qui di seguito per esemplificare e motivare la scelta dei parametri e degli indicatori inseriti nel modello. I dati numerici cui si fa riferimento, però, sono valori definiti dal Servizio Sanitario Regionale Emilia-Romagna in funzione delle peculiarità del presidio ospedaliero in questione e delle diverse unità operative cui fanno riferimento le varie linee guida. Di conseguenza la definizione dei parametri considerati nel modello non è basata sui dati numerici riportati nei vari documenti citati, ma bensì ai diversi coefficienti dovranno essere assegnati di volta in volta i valori più adeguati, in base a istanze reali, fornite dalle unità operative del presidio ospedaliero di riferimento per trasformare un modello teorico in un modello ad uso pratico.

La costruzione di questo modello di ottimizzazione si è focalizzata sul miglioramento dei servizi forniti ai pazienti, ma si è ritenuto importante inserire anche indicatori di efficienza organizzativa interna delle strutture ospedaliere in quanto, considerati anch'essi, elementi importanti nelle decisioni di pianificazione. Sono stati distinti quindi gli elementi primari, inseriti nella funzione obiettivo pesata del modello, da quelli secondari.

Tra gli indicatori primari, incentrati sul paziente, vi è, in primo luogo, il tempo che ciascuna persona deve attendere prima di poter accedere ai servizi sanitari pubblici. Come già detto, quello delle lunghe liste d'attesa, è un problema molto sentito e di rilevante importanza nelle valutazioni del servizio fornito. Nel modello si è richiesto quindi la minimizzazione del numero

di giorni trascorsi tra la data della visita, in cui il paziente è stato informato della necessità di un intervento chirurgico (referral), e il giorno in cui viene pianificata la sua operazione. Nelle linee guida elaborate dall’Azienda Unità Sanitaria Locale di Cesena per l’unità operativa di Chirurgia Generale Toracica [25], si riporta che, la gestione degli interventi chirurgici programmabili in elezione, avviene secondo l’analisi di schede di prenotazione redatte dal chirurgo all’atto della visita del paziente. Ciascuna scheda contiene informazioni come la diagnosi, l’intervento proposto, il tipo di ricovero e anche la data della visita che, determinando la posizione del paziente in lista d’attesa, è uno dei parametri maggiormente considerati nella formulazione dei programmi operatori.

A parità di stato di salute, si procede quindi con la pianificazione delle operazioni, nella settimana in analisi, seguendo l’ordine in lista d’attesa. Un fattore che potrebbe però modificare tale ordine di realizzazione degli interventi, e deve quindi essere considerato in funzione obiettivo, è la priorità associata a ciascun paziente, determinata in base alla sua condizione clinica e al grado di evoluzione della sua patologia.

Lo standard di prodotto/servizio dell’unità operativa di Chirurgia Vascolare [24], elaborato dall’AUSL di Cesena, propone una scala delle priorità che viene utilizzata per la graduazione delle patologie in ordine alla programmazione dell’attività chirurgica non in urgenza. Tale scala di priorità deriva dalla relazione tra indicatori della patologia in oggetto e il rischio evolutivo nel tempo, determinati dalla valutazione del medico che visita il paziente.

Lo stato clinico di un singolo può essere definito, per esempio, in base alla classificazione ASA (American Society of Anesthesiologists) richiamata anche nel documento “Valutazione preoperatoria del paziente da sottoporre a chirurgia elettiva” nelle linee guida nazionali di riferimento [11]. Tale classificazione suddivide i pazienti in cinque classi:

1. paziente in buona salute;
2. patologia sistemica di media entità;

3. patologia sistemica di severa entità stabilizzata;
4. patologia sistemica di severa entità con rischio di vita costante;
5. paziente moribondo con aspettativa di vita inferiore alle 24 ore, indipendentemente dall'intervento chirurgico.

Il rischio evolutivo della patologia del paziente viene definito, nel già citato standard di prodotto/servizio dell'unità operativa di Chirurgia Vascolare [24], mediante tre livelli (alto, medio o basso) e può dipendere, oltre che dalle condizioni del paziente, anche dalla procedura chirurgica cui deve sottoporsi. Nelle linee guida nazionali [11] viene fornita una tabella, tratta dalle linee guida del National Institute for Clinical Excellence (National Health Service, NHS) del 2003, che fornisce una classificazione delle procedure chirurgiche nei seguenti quattro gradi di complessità:

Grado 1: Piccola Chirurgia

Grado 2: Media Chirurgia

Grado 3: Medio-Alta Chirurgia

Grado 4: Alta e Altissima Chirurgia

Legato al grado di priorità di un paziente vi è la definizione della sua deadline, ovvero il termine massimo entro il quale il paziente dovrebbe essere operato in riferimento alla sua patologia e alla sua condizione clinica. In base alla relazione tra gli indicatori clinici e il rischio evolutivo, riportata nella scala di priorità, nello standard di prodotto/servizio dell'unità operativa di Chirurgia Vascolare [24], vengono definiti quattro livelli temporali che possono essere di riferimento per l'assegnazione di una deadline a ciascuna persona: i pazienti con il più alto grado di priorità devono essere inseriti in lista operatoria entro 30 giorni dalla data di iscrizione in lista d'attesa, quelli con un grado intermedio entro 90 giorni, mentre quelli con gradi più bassi devono essere inseriti in lista operatoria entro 360 giorni, fino ad arrivare ai pazienti meno

prioritari che possono restare in lista d'attesa anche oltre un anno.

La determinazione delle deadline dei pazienti e della loro priorità clinica/evolutiva si basa su informazioni ed elementi molto diversi a seconda dell'unità operativa in analisi, in base alle patologie trattate e ai relativi dati storici. Quando possibile, conviene quindi raggruppare i pazienti in classi con caratteristiche simili, al fine di determinare valori standard per ogni unità operativa associati a ciascuna classe di pazienti, piuttosto che all'analisi di ogni singolo caso.

Gli indicatori secondari che sono stati inseriti nel modello di ottimizzazione, invece, sono obiettivi di carattere economico importanti per garantire un'efficiente organizzazione di una struttura ospedaliera, ma comunque secondari rispetto agli indicatori focalizzati sul servizio fornito al paziente, che deve restare l'elemento di primaria importanza per una struttura sanitaria.

Tra gli indicatori secondari, della funzione obiettivo del modello, sono stati considerati i costi relativi agli interventi pianificati in overtime. E' stato definito un numero massimo di ore di interventi che può essere realizzato, in ogni giornata, in base all'orario regolare di apertura di ciascuna sala operatoria. Pur lasciando la possibilità di superare tale limite, per rendere un servizio più soddisfacente ai pazienti, si richiede che, la pianificazione di interventi oltre l'orario regolare di apertura delle sale operatorie, venga contenuto, al fine di ridurre i costi dovuti alle ore di straordinari effettuate dallo staff chirurgico e al mantenimento delle sale operatorie aperte oltre l'orario regolare.

Un altro elemento, che punta al miglioramento dell'organizzazione interna di una struttura ospedaliera, è la minimizzazione del numero di specialità chirurgiche a cui viene assegnata una sala operatoria in una determinata giornata. Sopra una certa soglia tollerabile, definita in base alle esigenze del presidio ospedaliero in analisi, l'alternarsi, in una sala operatoria, di squadre chirurgiche afferenti a diverse unità, comporta infatti una peggiore gestione delle attività chirurgiche e l'incremento di tempi inutilizzati dovuti, per esempio, allo spostamento delle varie squadre da una sala operatoria all'altra

e alla preparazione delle sale stesse con strumenti o apparecchi necessari agli interventi delle diverse unità chirurgiche.

Una caratteristica importante e peculiare del modello qui proposto è la ricerca, oltre che di un efficiente impiego delle risorse coinvolte durante e in seguito agli interventi, anche di una pianificazione ottimale di attività preoperatorie, come le visite anestesiolgiche.

In base alle informazioni presenti nella cartella clinica di ciascun paziente, è possibile assegnargli un grado di criticità connesso alla sua condizione clinica. Un paziente può essere definito critico se, si pensa, sia necessario un consulto anestesiolgico maggiormente approfondito rispetto alla visita preoperatoria abituale. Per individuare un quadro clinico più completo di un paziente definito critico, l'anestesista, potrebbe aver bisogno di consulti da parte di vari specialisti prima di poterlo sottoporre all'intervento.

Nel modello proposto si cerca dunque di pianificare la visita anestesiolgica di tali pazienti in regime ambulatoriale, per poterli sottoporre a tutte le visite di approfondimento di cui hanno bisogno con un sufficiente anticipo rispetto al giorno dell'intervento programmato. L'orizzonte temporale considerato nel modello, dunque, non può essere ridotto alla settimana in cui vengono pianificati gli interventi. Per questo, considereremo un intervallo generico di b giorni in cui è possibile programmare le visite anestesiolgiche, mentre gli interventi sono previsti solo negli ultimi cinque giorni, ovvero i giorni feriali dell'ultima settimana di tale orizzonte.

Le visite anestesiolgiche non pianificate, per mancanza di disponibilità degli anestesisti ad effettuare visite ambulatoriali nelle varie giornate o per una disfunzione nell'organizzazione interna della struttura ospedaliera, comportano scenari di diverso tipo. Una prima ipotesi qui considerata è quella di dover procedere con l'anticipo del ricovero del paziente, definito critico, da uno a quattro giorni prima del suo intervento, per poterlo sottoporre in reparto a tutte le visite che gli sono state prescritte. In alternativa si ha la mancata operazione del paziente stesso perché non si hanno a disposizione tutte le informazioni necessarie per la salvaguardia della sua salute.

Una pianificazione non efficiente delle visite anestesiolgiche in regime ambulatoriale, dunque, comporta scenari costosi e poco soddisfacenti, per questo sono stati aggiunti al modello due ulteriori termini che dovranno pesare negativamente sul valore della funzione obiettivo. Il primo si riferisce al costo di ospedalizzazione giornaliero di un paziente, dovuto alla degenza preoperatoria allungata, a causa della mancata pianificazione della visita anestesiolgica. Il secondo si riferisce alla quantità di slot di tempo rese disponibili dagli anestesisti per effettuare visite ambulatoriali rimaste però inutilizzate. L'obiettivo è quindi quello di migliorare l'impiego delle risorse coinvolte minimizzando i costi aggiuntivi, dovuti all'occupazione non necessaria di posti letto e al sotto utilizzo di slot temporali rese disponibili da medici anestesisti, che potrebbero invece essere evitati con una migliore organizzazione delle varie attività ospedaliere.

3.1 Formulazione del problema

Il problema consiste nell'assegnare ciascuna giornata dell'ultima settimana dell'orizzonte temporale T e ciascuna sala operatoria dell'insieme K alle varie unità operative attive presso una generica struttura ospedaliera. Si vuole inoltre determinare, su una lista di n pazienti, quanti e quali di questi devono essere operati negli ultimi cinque giorni dell'orizzonte di tempo considerato. Per aumentare la verosimiglianza del modello, si suppone infatti che il numero di pazienti che possono essere operati nella settimana in analisi sia minore rispetto al numero di persone segnate in lista d'attesa. Ciò significa che solo una parte dei pazienti verrà selezionata per l'intervento, i restanti rimarranno in lista d'attesa e verranno nuovamente valutati nella pianificazione delle settimane successive.

La funzione obiettivo intende minimizzare i tempi di attesa dei pazienti pesati con coefficienti di priorità basati sulla condizione clinica e sulla deadline associate al paziente stesso al momento dell'inserimento in lista d'attesa.

Inoltre la funzione obiettivo minimizza una serie di indicatori di performance secondari come la durata complessiva degli interventi pianificati in overtime, il numero di unità operative a cui è stata assegnata una sala operatoria oltre il valore fissato M della soglia accettabile, il numero di pazienti che devono essere ricoverati da uno a quattro giorni prima a causa della mancata pianificazione di una visita anestesiologicala in regime ambulatoriale e il numero di visite rese disponibili dai medici anestesisti nell'arco dell'orizzonte temporale rimaste inutilizzate.

La pianificazione deve soddisfare vari vincoli, per lo più legati alle risorse coinvolte. In primo luogo bisogna verificare la disponibilità delle sale operatorie in ciascuna giornata, ma la pianificazione di un intervento potrebbe essere limitata anche dalla mancata disponibilità di posti letto di cui un paziente ha bisogno per tutta la durata della sua degenza pre e postoperatoria. Come si evince dagli standard di prodotto/servizio dell'AUSL di Cesena, a ciascuna specialità chirurgica viene assegnato un numero di posti letto per il ricovero dei relativi pazienti. In tali documenti, inoltre, è riportata una distinzione tra i vari tipi di ricovero che possono essere richiesti per un paziente:

- Degenza Ordinaria che può protrarsi oltre i 5 giorni;
- Degenza Breve che, in assenza di complicazioni, ha una lunghezza massima di 5 giorni;
- Degenza in Day Hospital che richiede il ricovero nel solo giorno dell'intervento.

Per quanto riguarda il ricovero preoperatorio, si suppone che i pazienti di Degenza Ordinaria o Breve vengano ammessi in ospedale il giorno prima dell'intervento, a differenza dei pazienti operati in Day Hospital che vengono ammessi il giorno stesso. Quanto detto vale per i pazienti che non necessitano di una visita anestesiologicala più approfondita rispetto alla visita abituale o anche per i pazienti definiti critici la cui visita anestesiologicala è stata pianificata con sufficiente anticipo nell'orizzonte di tempo T considerato. Per

tutti i pazienti che invece sono stati definiti critici e la cui visita anestesiológica non è stata pianificata, si procede con l'anticipo del ricovero da uno a quattro giorni prima dell'intervento programmato.

Per quanto riguarda la degenza postoperatoria, alcuni pazienti potrebbero aver bisogno di essere ricoverati presso l'unità di terapia intensiva (ICU), i cui posti letto sono una risorsa condivisa tra tutte le specialità chirurgiche. Al termine di tale periodo i pazienti vengono spostati in un posto letto dedicato all'unità chirurgica afferente nel quale terminerà la sua degenza prima di poter essere dimesso.

Nel modello proposto sono presenti anche restrizioni di altro tipo come vincoli "politici" che possono essere presenti nelle varie strutture ospedaliere. E' possibile infatti che in un presidio ospedaliero non si abbia un'equa divisione tra le diverse unità operative delle slot di tempo assegnabili per eseguire interventi, ma è verosimile piuttosto che ci siano specialità chirurgiche più richieste di altre. Si è imposto, quindi, che in fase di pianificazione le slot temporali vengano spartite tra le varie specialità chirurgiche in base alla lunghezza delle relative liste d'attese, pesate per priorità dei pazienti iscritti. Per evitare infine che non venga assegnata alcuna slot temporale alle unità operative con liste d'attesa non troppo consistenti e con pazienti poco prioritari, sono stati inseriti un numero minimo e un numero massimo di ore di intervento che possono essere realizzati da ciascuna unità operativa sull'intera settimana di pianificazione.

3.2 Lista dei parametri

I	insieme dei pazienti iscritti nelle liste d'attesa delle varie unità operative, $i \in \{1, 2, \dots, n\}$;
K	insieme delle sale operatorie del presidio ospedaliero, $k \in \{1, 2, \dots, c\}$;
T	insieme dei giorni dell'orizzonte temporale di pianificazione delle visite anestesologiche preoperatorie e degli interventi, $t \in \{1, 2, \dots, b\}$;
Δ_i	tempo di permanenza del paziente i in lista d'attesa, ovvero il tempo trascorso tra il referral del paziente e il primo giorno della settimana di pianificazione degli interventi;
ρ_i	coefficiente di priorità del paziente i connesso al suo stato clinico e al rischio evolutivo della sua patologia;
DL_i	deadline del paziente i ;
π_i	variabile in funzione del valore DL_i che indica l'avvicinarsi, con lo scorrere del tempo, alla deadline del paziente i ;
P_{WT}	peso in funzione obiettivo relativo al tempo d'attesa dei pazienti;
$Cover_{kt}$	costo connesso ad un'ora di intervento pianificato in overtime nella sala operatoria k il giorno t , dove $t \in \{b - 4, \dots, b\}$;
F_{kt}	numero massimo di ore di intervento pianificabile in overtime nella sala operatoria k il giorno t , dove $t \in \{b - 4, \dots, b\}$;
P_{OT}	peso in funzione obiettivo relativo agli interventi pianificati in overtime;
M	numero massimo di specialità chirurgiche a cui può essere assegnata una sala operatoria, in una giornata della settimana di pianificazione degli interventi, senza incorrere in penalità;
$C_{sur_{kt}}$	costo connesso al superamento del numero massimo, M , di specialità chirurgiche assegnabili ad una sala operatoria k il giorno t , dove $t \in \{b - 4, \dots, b\}$;

- P_{SP} peso in funzione obiettivo relativo al superamento del numero massimo, M , di specialità chirurgiche a cui può essere assegnata una sala operatoria in una giornata;
- C costo giornaliero connesso all'ospedalizzazione di un paziente;
- P_V peso in funzione obiettivo relativo alla mancata pianificazione della visita anestesiologicala di un paziente critico;
- C_t numero di visite ambulatoriali rese disponibili dai medici anestesisti nel giorno t , dove $t \in T$;
- P_{AV} peso in funzione obiettivo relativo al numero di visite anestesiologicalhe rese disponibili, ma non eseguite su alcun paziente;
- W insieme delle specialità chirurgiche del presidio ospedaliero, $w \in \{1, 2, \dots, m\}$;
- I_w sottoinsieme di I costituito dai pazienti iscritti alla lista d'attesa della specialità chirurgica w , tale che $I_w \cap I_h = \emptyset \quad \forall w, h \in W$ con $w \neq h$, $\cup_{w=1}^m I_w = I$ e tale che W risulti ordinato nel seguente modo: $|I_w| \sum_{i \in I_w} \rho_i \leq |I_{w+1}| \sum_{i \in I_{w+1}} \rho_i \quad \forall w \in W$;
- S_{kt} numero massimo di ore di intervento disponibili corrispondente al numero di ore di apertura della sala operatoria k il giorno t , dove $t \in \{b-4, \dots, b\}$;
- p_i durata prevista dell'operazione del paziente i ;
- N numero massimo di interventi che è possibile eseguire in una giornata in una sala operatoria, nel caso in cui tutte le operazioni durino quanto l'intervento più breve, in modo che:

$$N = \frac{\max_{k \in K, t \in \{b-4, \dots, b\}} \{S_{kt} + F_{kt}\}}{\min_{i \in I} \{p_i\}}$$
;
- L_w estremo inferiore del numero minimo di ore di intervento che è possibile assegnare all'unità operativa w ;
- U_w estremo superiore del numero massimo di ore di intervento che è possibile assegnare all'unità operativa w ;
- μ_i $\begin{cases} 1 & \text{se il paziente } i \text{ è stato definito "critico", ovvero si pensa possa aver bisogno di una visita anestesiologicala di maggior approfondimento rispetto a quelle abituali} \\ 0 & \text{altrimenti;} \end{cases}$

- h_i numero di giorni necessari per effettuare le eventuali consulenze da parte di vari specialisti, che si pensa possano servire per ottenere una visita anestesiologicala completa del paziente i , tale che: $h_i > 1$, intero;
- J_t numero di visite anestesiologicalhe occupate il giorno $t \in T$ da pazienti operati nelle settimane precedenti a quella in analisi per la pianificazione degli interventi;
- α_i durata prevista della degenza postoperatoria del paziente i durante la quale gli occorre un posto letto, tale che: α_i intero, $\alpha_i \geq 5$ se il paziente i è ricoverato in Degenza Ordinaria, $1 < \alpha_i \leq 5$ se il paziente i è ricoverato in Degenza Breve, $\alpha_i = 1$ se il paziente i è ricoverato in Day Hospital;
- ϑ_i $\begin{cases} 1 & \text{se per il paziente } i \text{ è prevista una Degenza Ordinaria o Breve} \\ 0 & \text{se per il paziente } i \text{ è previsto un ricovero in Day Hospital;} \end{cases}$
- I_{IC} sottoinsieme di I costituito da tutti i pazienti che, in seguito all'operazione, si pensa abbiano bisogno di un ricovero in terapia intensiva (IC);
- δ_i durata prevista della degenza postoperatoria del paziente i durante la quale gli occorre un letto di terapia intensiva, tale che: $\delta_i \geq 0$, intero;
- G_w numero dei posti letto dedicati ai pazienti dell'unità chirurgica w ;
- A_{wt} numero dei pazienti della specialità chirurgica w operati le settimane precedenti a quella in analisi per la pianificazione degli interventi, ma che, il giorno t , occupano ancora un posto letto, dove $t = b - 5, \dots, b$;
- Q numero dei posti letto di terapia intensiva disponibili a tutte le unità operative;
- B_t numero dei pazienti operati le settimane precedenti a quella in analisi per la pianificazione degli interventi, ma che, il giorno t , occupano ancora un letto di terapia intensiva, dove $t = b - 4, \dots, b$;
- E_w numero di squadre chirurgiche appartenenti all'unità operativa w ;

3.3 Variabili decisionali

$$x_{ikt} = \begin{cases} 1 & \text{se il paziente } i \text{ dev'essere operato nella sala operatoria} \\ & k \text{ il giorno } t \text{ dell'orizzonte temporale} \\ 0 & \text{altrimenti;} \end{cases}$$

$$z_i = \begin{cases} 1 & \text{se il paziente } i \text{ non è stato selezionato per essere operato} \\ & \text{durante la settimana di pianificazione degli interventi} \\ 0 & \text{altrimenti;} \end{cases}$$

$$\epsilon_{it} = \begin{cases} 1 & \text{se per il paziente } i, \text{ che dev'essere operato il giorno } t, \\ & \text{non è stata pianificata la visita anestesiologicala} \\ & \text{con appuntamento ambulatoriale nell'arco dell'orizzonte} \\ & \text{temporale} \\ 0 & \text{altrimenti;} \end{cases}$$

$$y_{wkt} = \begin{cases} 1 & \text{se la specialità chirurgica } w \text{ viene associata alla sala} \\ & \text{operatoria } k \text{ il giorno } t \text{ della settimana di pianificazione} \\ & \text{degli interventi} \\ 0 & \text{altrimenti;} \end{cases}$$

$$\varphi_{it} = \begin{cases} 1 & \text{se la visita anestesiologicala del paziente } i \text{ è stata piani-} \\ & \text{ficata in regime ambulatoriale il giorno } t \text{ dell'orizzonte} \\ & \text{temporale} \\ 0 & \text{altrimenti;} \end{cases}$$

- f_{kt} durata complessiva prevista degli interventi pianificati in overtime nella sala operatoria k il giorno t , tale che: $f_{kt} \in [0, F_{kt}]$, dove $t \in \{b-4, \dots, b\}$;
- η_{kt} numero di specialità chirurgiche assegnate alla sala operatoria k il giorno t eccedenti M , tale che: $\eta_{kt} \in \{0, \dots, m\}$, dove $t \in \{b-4, \dots, b\}$;
- ψ_t numero delle visite rese disponibili dai medici anestesisti per il giorno t , ma non eseguite su alcun paziente, tale che: $\psi_t \in \{0, \dots, C_t\}$, dove $t \in T$;

3.4 Modello matematico

$$\begin{aligned}
MinZ = & \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c \sum_{t=b-4}^b x_{ikt} (t-26) \Delta_i \rho_i \pi_i + \sum_{i=1}^n z_i (5\Delta_i) \rho_i \pi_i \right) P_{WT} + \\
& + \sum_{k=1}^c \sum_{t=b-4}^b (Cover_{kt} f_{kt} P_{OT} + C_{sur_{kt}} \eta_{kt} P_{SP}) + \\
& + C \left(\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^b \epsilon_{it} \right) P_V + \left(\sum_{t=1}^b \psi_t \right) P_{AV}
\end{aligned}$$

$$\sum_{i \in I_w} x_{ikt} - Ny_{wkt} \leq 0 \tag{3.1}$$

$$\forall w = 1, \dots, m; \quad \forall k = 1, \dots, c; \quad \forall t = b-4, \dots, b$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{t=1}^{b-5} x_{ikt} = 0 \tag{3.2}$$

$$\forall i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{t=b-4}^b x_{ikt} + z_i = 1 \quad (3.3)$$

$$\forall i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{w=1}^m y_{wkt} \geq 1 \quad (3.4)$$

$$\forall k = 1, \dots, c; \quad \forall t = b-4, \dots, b$$

$$\sum_{w=1}^m y_{wkt} \leq M + \eta_{kt} \quad (3.5)$$

$$\forall k = 1, \dots, c; \quad \forall t = b-4, \dots, b$$

$$\sum_{i \in I_w} \sum_{k=1}^c \sum_{t=b-4}^b x_{ikt} p_i \geq L_w \quad (3.6)$$

$$\forall w = 1, \dots, m$$

$$\sum_{i \in I_w} \sum_{k=1}^c \sum_{t=b-4}^b x_{ikt} p_i \leq U_w \quad (3.7)$$

$$\forall w = 1, \dots, m$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{t=b-4}^b y_{wkt} - \sum_{k=1}^c \sum_{t=b-4}^b y_{(w+1)kt} \geq 0 \quad (3.8)$$

$$\forall w = 1, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ikt} p_i \leq S_{kt} + f_{kt} \quad (3.9)$$

$$\forall k = 1, \dots, c; \quad \forall t = b - 4, \dots, b$$

$$\sum_{t=1}^b (\varphi_{it} + \epsilon_{it}) = \mu_i (1 - z_i) \quad (3.10)$$

$$\forall i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{k=1}^c \mu_i x_{ikt} \leq \sum_{a < t - h_i; a \in T} \varphi_{ia} + \epsilon_{it} \quad (3.11)$$

$$\forall i = 1, \dots, n; \quad \forall t = b - 4, \dots, b$$

$$\sum_{i=1}^n \varphi_{it} + \psi_t = C_t - J_t \quad (3.12)$$

$$\forall t = 1, \dots, b$$

$$\sum_{i \in I_w} \left[\sum_{k=1}^c \left(\sum_{\tau=t-\alpha_i+\vartheta_i}^t x_{ik\tau} + \vartheta_i x_{ik(t+\vartheta_i)} \right) + \sum_{\tau=t+1+\vartheta_i}^{t+4} \epsilon_{i\tau} \right] - \quad (3.13)$$

$$- \sum_{i \in I_w \cap I_{IC}} \sum_{k=1}^c \sum_{\tau=t-\delta_i+1}^t x_{ik\tau} \leq G_w - A_{wt}$$

$$\forall w = 1, \dots, m; \quad \forall t = b - 5, \dots, b$$

$$\sum_{i \in I_C} \sum_{k=1}^c \sum_{\tau=t-\delta_i+1}^t x_{ik\tau} \leq Q - B_t \quad (3.14)$$

$$\forall t = b - 4, \dots, b$$

$$\sum_{k=1}^c y_{wkt} \leq E_w \quad (3.15)$$

$$\forall w = 1, 2, \dots, m; \quad \forall t = b - 4, \dots, b$$

$$x_{ikt} \in \{0, 1\} \quad (3.16)$$

$$\forall i = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, c; \quad \forall t = 1, \dots, b$$

$$z_i \in \{0, 1\} \quad (3.17)$$

$$\forall i = 1, \dots, n$$

$$f_{kt} \in [0, F_{kt}] \quad (3.18)$$

$$\forall k = 1, \dots, c; \quad \forall t = b - 4, \dots, b$$

$$\eta_{kt} \in \{0, \dots, m\} \quad (3.19)$$

$$\forall k = 1, \dots, c; \quad \forall t = b - 4, \dots, b$$

$$y_{wkt} \in \{0, 1\} \quad (3.20)$$

$$\forall w = 1, \dots, m; \quad k = 1, \dots, c; \quad \forall t = b - 4, \dots, b$$

$$\begin{aligned}\varphi_{it} &\in \{0, 1\} & (3.21) \\ \forall i = 1, \dots, n; \quad \forall t = 1, \dots, b\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_{it} &\in \{0, 1\} & (3.22) \\ \forall i = 1, \dots, n; \quad \forall t = b - 4, \dots, b\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\psi_t &\in \{0, \dots, C_t\} & (3.23) \\ \forall t = 1, \dots, b\end{aligned}$$

3.5 Descrizione analitica del modello

La funzione obiettivo minimizza i tempi di attesa dei pazienti, pesati con coefficienti di priorità basati sulla condizione clinica e sulla deadline associate a ciascun paziente. Minimizza inoltre la presunta durata complessiva degli interventi pianificati in overtime, il numero di specialità chirurgiche associate ad una sala operatoria in una giornata eccedenti il valore di M , il numero di visite anestesologiche di pazienti definiti critici non pianificate e il numero di visite rese disponibili dai medici anestesisti, nell'arco dell'orizzonte temporale, rimaste inutilizzate.

I vincoli 3.1 utilizzano un così detto “big” N per attivare la variabile binaria y_{wkt} in funzione del valore assunto da x_{ikt} . Ovvero, se si vuole operare un paziente il giorno t nella sala operatoria k , occorre che tale sala venga

assegnata nel giorno t all'unità operativa che deve eseguire l'intervento. Nonostante questo, l'allocazione di sale operatorie ad una particolare specialità chirurgica è vincolata anche da bound inferiori e superiori fissati che gestiti nei vincoli 3.6 e 3.7.

Con i vincoli 3.2 si garantisce gli interventi chirurgici debbano essere pianificati solo nell'ultima settimana dell'intero orizzonte temporale T . I vincoli 3.3, invece, assicurano che l'operazione di ciascun paziente verrà programmata in una sola sala operatoria e in un unico giorno della settimana di pianificazione degli interventi oppure verrà posticipata alle settimane successive.

I vincoli 3.4 garantiscono che ciascuna sala operatoria verrà assegnata ad almeno una specialità chirurgica in ciascuna giornata della settimana di pianificazione degli interventi, mentre il superamento dell'estremo superiore M , fissato per tale numero, viene valutato nei vincoli 3.5 e penalizzato in funzione obiettivo.

Il numero di ore di interventi programmato per ciascuna unità chirurgica, nell'arco della settimana di pianificazione delle operazioni, è costretto dai vincoli 3.6 e 3.7 ad appartenere all'intervallo fissato e intero $[L_w, U_w]$. I vincoli 3.8, invece, impongono l'assegnazione di un maggior numero di giornate alle unità chirurgiche con le liste d'attesa più lunghe pesate per priorità dei pazienti iscritti.

Il vincolo 3.9 valuta la durata prevista, in ore, delle operazioni pianificate in overtime nell'arco della settimana di pianificazione degli interventi.

La programmazione delle visite anestesiolgiche dei pazienti definiti critici viene gestita dai vincoli 3.10, 3.11 e 3.12. Se un paziente viene selezionato per essere operato nella settimana di pianificazione degli interventi ed è stato definito critico, la sua visita anestesiolgica può essere pianificata in al più un giorno dell'orizzonte temporale (vincoli 3.10). Se viene pianificata tale visita per il paziente i , per i vincoli 3.11, dev'essere programmata con un anticipo di almeno h_i giorni dalla data stabilita per l'intervento, tempo necessario per effettuare i consulti specialistici che si pensa possano servire al paziente. I vincoli 3.12 gestiscono la pianificazione delle visite in base a quante ne sono

state rese disponibili dai medici anestesisti in ciascuna giornata dell'orizzonte temporale e non ancora occupate da pazienti operati nelle settimane precedenti a quella in analisi per la pianificazione degli interventi.

3.13 e 3.14 sono vincoli di capacità di risorse critiche quali i posti letto e i letti di terapia intensiva. I vincoli 3.13 assicurano che i pazienti possono essere operati solo se vi è disponibile un posto letto in seguito all'intervento. Per verificare tale disponibilità in un giorno t è necessario tener conto del numero di posti letto dedicati a ciascuna specialità chirurgica e di quanti sono già occupati da pazienti operati nei giorni precedenti a t , ma ancora ricoverati in ospedale in tal giorno. Il giorno t sono occupati posti letto anche da pazienti operati nei giorni successivi, ma che il giorno t sono ricoverati in ospedale. Questo può accadere per i pazienti con Degenza ordinaria o Breve perché ricoverati il giorno prima dell'intervento o per i pazienti critici il cui ricovero preoperatorio è stato anticipato da uno a quattro giorni prima dell'intervento a causa della mancata pianificazione della visita anestesiologicala.

I pazienti, invece, che si pensa possano aver bisogno di un ricovero postoperatorio in terapia intensiva possono essere operati solo previa disponibilità di posti letto del reparto di rianimazione (vincoli 3.14).

I vincoli 3.15 assicurano che, in ciascuna giornata della settimana di pianificazione degli interventi, possono essere assegnate a ciascuna specialità chirurgica al più tante sale operatorie quante sono le squadre chirurgiche appartenenti all'unità operativa considerata.

Da 3.16 a 3.23, infine, si definiscono le variabili decisionali del modello.

Capitolo 4

Costruzione di un modello di ottimizzazione: uno studio pratico

Molte ricerche in letteratura, dopo aver formulato e sviluppato un modello di ottimizzazione, ne verificano la concreta applicabilità testandolo su vari problemi. In tale fase di sperimentazione, le ricerche, oltre a verificare l'efficienza computazionale e il corretto funzionamento del modello, puntano a mostrare in che misura possono essere raggiunti gli obiettivi che ci si era posti in fase di costruzione.

L'implementazione di un modello richiede la determinazione e l'inserimento di una gran quantità di dati numerici, per alimentare i diversi parametri e coefficienti presenti nel modello stesso. Per i test eseguiti ed analizzati in fase di sperimentazione, possono essere utilizzati dati teorici o dati reali.

Fei et al. [9], per esempio, generano random tutti i dati usati nella loro ricerca per testare il modello proposto, Guinet e Chaabane [10], invece, risolvono 608 problemi differenti, i cui dati vengono generati secondo una distribuzione *log*-normale (le date di ospedalizzazione e le deadlines dei pazienti, per esempio, sono valori interi generati con media uguale a 2 e a 4 rispettivamente e con deviazione standard uguale a 1).

Rispetto alle poche ricerche che non testano i modelli costruiti o a quelle che invece utilizzano istanze generate, sono maggiormente diffuse e frequenti le ricerche che si occupano di programmazione di sale operatorie basandosi su dati reali.

Vissers et al.[33] analizzano i dati storici del reparto “Thorax Centre” dell’Erasmus Medical Centre di Rotterdam, presidio ospedaliero a cui si rivolge la loro ricerca, per ricavare informazioni sulla disponibilità di risorse come le sale operatorie o i posti letto e sulla durata degli interventi e delle degenze pre e postoperatorie dei pazienti appartenenti a ciascuna classe, determinata in base al raggruppamento dei pazienti secondo le loro necessità.

Testi e Tanfani [29] verificano la bontà dei risultati ottenuti, con il modello proposto nella loro ricerca, applicandolo a situazioni reali quali l’ammissione di pazienti elettivi al reparto di Chirurgia Generale dell’ospedale universitario “San Martino” di Genova. I dati forniti dall’ospedale sono stati utilizzati per verificare la consistenza computazionale del modello, studiato per ottenere due serie di risultati: la pianificazione settimanale delle sale operatorie del reparto considerato e le soluzioni riguardanti l’analisi di scenario “what if”, effettuata per valutare l’aumento del numero di ore disponibili delle sale operatorie dell’intero reparto.

Anche nel lavoro di ricerca svolto per questa tesi, dopo una prima fase di costruzione di un modello teorico di ottimizzazione, si è voluto verificare l’applicabilità e l’efficienza di un modello pratico, applicandolo ad un contesto reale.

Il modello presentato e analizzato nel Capitolo 3, quindi, è stato sottoposto a più revisioni e manipolazioni, con lo scopo di renderlo effettivamente applicabile secondo le informazioni fornite dal reparto di Ortopedia del Policlinico di Modena. Le modifiche e i cambiamenti apportati hanno portato alla nascita di un nuovo modello, volto a soddisfare le esigenze del dipartimento in questione e a migliorarne l’organizzazione delle pratiche di programmazione delle sale operatorie abitualmente adottate. Il modello così sviluppato è quin-

di fortemente influenzato dalle caratteristiche e dalle peculiarità del reparto considerato del Policlinico modenese e, per questo, si pone di risolvere anche problematiche specifiche che non sono solitamente affrontate in letteratura, rendendo, così, una visione più ampia del problema della gestione delle sale operatorie.

Dovendoci occupare della pianificazione degli interventi di una sola unità operativa, il problema qui proposto, non prevede più, come nel modello teorico, l'allocazione di slot temporali alle diverse specialità chirurgiche di un presidio ospedaliero. La spartizione di sale operatorie e slot temporali tra le varie unità chirurgiche, infatti, è data dalla Master Surgical Schedule utilizzata dal Policlinico per la gestione settimanale delle attività chirurgiche. Il problema, quindi, si riduce, pur mantenendo la medesima forma e complessità, all'allocazione delle sale operatorie e delle slot temporali di ciascuna giornata, già assegnate al reparto di Ortopedia dalla MSS, ai chirurghi appartenenti all'unità operativa in questione, ovvero si tratta di definire i turni di lavoro settimanali dei chirurghi del dipartimento di Ortopedia.

Ciascun chirurgo dispone di una lista personale costituita dai pazienti visitati in libera professione a cui è stata dichiarata la necessità di un intervento chirurgico, ma vi è anche una lista condivisa da tutti i chirurghi del reparto, composta dai pazienti visitati in regime ambulatoriale e, quindi, accedenti mediante servizio sanitario pubblico.

Oltre alla definizione dei turni di lavoro dei medici chirurghi del reparto, si deve determinare anche quali pazienti, appartenenti all'unione di tutte le liste, quelle personali e quella condivisa, dovranno essere operati nella settimana di pianificazione degli interventi e quali giornate e sale operatorie, tra quelle dedicate al reparto di Ortopedia dalla MSS, dovranno essere associate ai pazienti selezionati.

Gli interventi di Ortopedia possono essere distinti, secondo la classificazione già nota, in operazioni di chirurgia elettiva e non elettiva. Tra le operazioni di

chirurgia elettiva, e dunque programmabili, è possibile distinguere due classi costituite rispettivamente dagli interventi protesici e da quelli non protesici. La prima classe consiste in operazioni chirurgiche di sostituzione di articolazioni soggette ad usura o malfunzionamenti e le operazioni appartenenti a tale classe possono essere a loro volta identificate, per grado di complessità, con le seguenti tipologie eseguite nel reparto di Ortopedia:

- intervento all'anca
- intervento al ginocchio
- intervento alla spalla.

Le operazioni di chirurgia non elettiva, o anche dette di traumatologia, vengono invece gestite, dal reparto di Ortopedia del Policlinico di Modena, con un approccio deterministico. Tale gestione, infatti, non esamina considerazioni di tipo probabilistico sul flusso di arrivo dei pazienti urgenti, ma bensì si preferisce dedicare, agli eventuali interventi di traumatologia, parte delle slot temporali assegnate all'unità operativa dalla MSS settimanale del Policlinico.

4.1 Formulazione del problema: confronto con il modello teorico

La Master Surgical Schedule, utilizzata dal Policlinico di Modena, è caratterizzata dall'assegnamento, a ciascuna unità operativa, di una sala operatoria in ciascuna slot temporale delle varie giornate della settimana di pianificazione degli interventi chirurgici. In base agli orari di apertura delle sale operatorie, il Policlinico considera, per la determinazione delle slot temporali, una partizione di ciascuna giornata in due periodi: una sessione mattutina di

sei ore, dalle 8:00 alle 14:00, e una pomeridiana di pari durata, dalle 14:00 alle 20:00. Dev'essere quindi costruita una pianificazione che associa ad ogni chirurgo, appartenente ad una data unità operativa, le sale operatorie che deve occupare in ciascun periodo delle giornate della settimana di pianificazione degli interventi. Una sala operatoria, dunque, è occupata da un solo chirurgo per tutta la durata del periodo in cui gli è stata assegnata. Differente era la pianificazione fatta nel modello teorico, in cui, ogni sala operatoria, nell'arco di un'intera giornata, poteva essere assegnata a più specialità chirurgiche del presidio ospedaliero. Ovviamente questo comporterà la necessità di far dipendere, le variabili che indicano l'allocazione delle sale operatorie ai vari chirurghi e quelle che determinano lo svolgimento dell'intervento di un paziente, non solo dal giorno dell'orizzonte considerato, ma anche dal periodo selezionato.

Secondo la MSS, utilizzata dal Policlinico modenese, è prevista l'assegnazione, all'unità di Ortopedia, di due sale operatorie in ciascuna giornata della settimana di pianificazione degli interventi chirurgici, per un totale di 20 slot temporali disponibili a settimana, di cui 4 vengono dedicate agli interventi di traumatologia.

Il reparto di Ortopedia prevede inoltre, in ciascun periodo di una singola giornata, lo svolgimento di operazioni appartenenti ad un'unica classe (interventi protesici, non protesici o traumatologici). In una giornata tipo dell'unità operativa di Ortopedia sono presenti due sessioni mattutine, attive in parallelo sulle due sale operatorie dedicate, in cui si eseguono interventi programmabili, mentre nelle sessioni pomeridiane è possibile svolgere solo interventi non protesici.

Come già detto, gli interventi protesici sono classificati come: intervento all'anca, al ginocchio o alla spalla. Ciascuna tipologia è caratterizzata da un grado distinto di complessità e, per motivi organizzativi, nel reparto di Ortopedia, si richiede che in ciascuna sala operatoria, nell'arco di una delle mattinate della settimana in analisi, vengano eseguiti un numero limitato di interventi protesici di tipo diverso. Per questo, analogamente a quanto fatto

nel modello teorico per l’allocazione di una sala operatoria a più specialità chirurgiche, si impone un numero massimo M di tipi di intervento diversi programmabili in ciascun periodo; superata tale soglia, la pianificazione risulterà penalizzata.

A differenza di quanto accadeva nel modello teorico, non viene considerata la durata prevista delle operazioni programmate, ma si fissa piuttosto un limite massimo di interventi eseguibili, in ciascun periodo, in termini di numero di operazioni e non più di durata complessiva degli interventi. Nel reparto di Ortopedia è previsto, in linea teorica, lo svolgimento di due operazioni in ciascun periodo della giornata, mantenendo così le attività lavorative entro l’orario regolare di apertura delle sale operatorie. Tuttavia è possibile programmare un numero di operazioni superiore al valore standard, ma dato il grado di complessità degli interventi protesici, la pianificazione di interventi in overtime è concessa solo se si tratta di operazioni non protesiche.

Un’ulteriore modifica apportata al modello, in base alle abitudini organizzative e lavorative del reparto di Ortopedia, è costituita dalla considerazione, in fase di pianificazione, della richiesta che un chirurgo può fare di essere affiancato durante un intervento da un collega appartenente allo stesso reparto. Tali richieste vengono gestite, dal modello sviluppato, mediante la definizione di una serie di relazioni determinate dai medici del dipartimento ortopedico del Policlinico, che indicano quale chirurgo può richiedere la consulenza e l’affiancamento di un collega di Ortopedia specializzato nel tipo di intervento che si andrà a svolgere. Il modello dovrà quindi soddisfare correttamente tali richieste, impedendo l’assegnazione di una sala operatoria, ad un chirurgo, nello stesso periodo della giornata in cui è stata richiesta la sua presenza, per effettuare un intervento in un’altra sala operatoria.

L’assegnamento dei periodi della settimana in analisi, ai vari chirurghi di Ortopedia, deve inoltre soddisfare, come nel modello teorico, vincoli “politici” interni alla struttura ospedaliera. Così come per l’insieme delle specialità chirurgiche del presidio ospedaliero nel modello teorico, anche nel modello

pratico è dunque possibile definire un ordinamento sull'insieme dei chirurghi afferenti all'unità operativa di Ortopedia, in base alla lunghezza delle loro liste d'attesa personali, pesate per priorità dei pazienti iscritti.

Per quanto riguarda le risorse coinvolte indirettamente nelle attività chirurgiche, i posti letto, al Policlinico di Modena, vengono distribuiti tra le diverse specialità chirurgiche, così come era stato considerato anche nel modello teorico presentato nel capitolo precedente. Al reparto di Ortopedia, i posti letto risultano essere in numero relativamente abbondante e dunque non costituiscono una risorsa critica e non vengono considerati in fase di pianificazione. La scelta del reparto in questione, di non considerare la disponibilità dei posti letto nella programmazione delle attività chirurgiche, può essere giustificata, oltre che dall'abbondante capacità della risorsa, anche dal fatto che, nel caso in cui la domanda superi la disponibilità, è possibile usufruire dei posti letto dedicati ad altre specialità chirurgiche della struttura ospedaliera. Il modello pratico non presenterà, quindi, i vincoli di capacità cui era soggetto il modello teorico per la gestione dei posti letto e dei ricoveri in terapia intensiva. Secondo il Policlinico modenese, invece, un elemento presente nel modello teorico mostratogli, che potrebbe contribuire in modo significativo al miglioramento dell'organizzazione delle loro attività chirurgiche, è la pianificazione delle visite anestesologiche per pazienti definiti critici, non prevista, al momento, tra le attività di programmazione per slot dedicate dell'ospedale. Dato il particolare interesse mostrato, si è indagato su quali altre attività preoperatorie potessero essere pianificate mediante l'inserimento di componenti aggiuntive nel modello. Presso il reparto di Ortopedia del Policlinico, per esempio, non viene attualmente considerata una pianificazione per slot dedicate dei prelievi ematici, fortemente promossa dalle linee guida nazionali e regionali. In tali documenti, infatti, viene incoraggiata la pianificazione di prelievi del sangue precedenti all'operazione dei pazienti che potrebbero dover subire delle trasfusioni durante l'intervento. Lo scopo è, quindi, rendere i pazienti autosufficienti nel loro fabbisogno ematico, sottoponendoli a

prelievi prima dell'intervento. Tale iniziativa permetterebbe di limitare le richieste, alla banca del sangue attiva presso il Policlinico, di sacche ematiche che rappresentano una risorsa scarsa e condivisa da tutte le unità operative dell'ospedale. Si è cercato dunque di indagare e costruire la corretta prassi per il deposito di sacche ematiche per ottenere un'efficiente utilizzo di tale risorsa.

Al momento della pianificazione può essere considerato un indicatore, associato a ciascun paziente, che fornisce informazioni relative alla presunta necessità di doverlo sottoporre a trasfusioni durante l'intervento e alla possibilità di poter effettuare dei prelievi preoperatori in base all'età e alla condizione clinica del paziente considerato. Per divenire autosufficienti, i pazienti ritenuti idonei, dovranno sottoporsi a due prelievi, di cui, il primo dev'essere effettuato da quattro a tre settimane prima dell'intervento, il secondo, invece, dev'essere eseguito con un anticipo di una settimana dal giorno dell'operazione. Oltre ai vincoli che gestiscono tali restrizioni sui tempi di esecuzione dei prelievi, dovranno essere inseriti, nel modello, anche vincoli di capacità, determinati in base al numero di prelievi resi disponibili dal personale dedicato a tali attività, nei vari giorni dell'orizzonte considerato.

La pianificazione degli interventi chirurgici, al reparto di Ortopedia del Policlinico, si conclude con la comunicazione telefonica, a ciascun paziente selezionato, della data programmata per l'intervento. Si verifica quindi la loro disponibilità, per poter confermare le date pianificate ed ottenere il programma definitivo degli interventi della settimana in analisi. Nel caso in cui qualche paziente non sia disponibile ad essere operato nel giorno programmato, è necessario ottenere un'altra pianificazione in cui o il giorno dell'intervento del paziente risulta cambiato o il paziente viene sostituito e rinviato alla pianificazione della settimana successiva.

Nel modello teorico, non era prevista alcuna componente che gestisse tali imprevisti, che risultano, però, essere all'ordine del giorno nella pianificazione delle attività chirurgiche di un presidio ospedaliero. Si è ritenuto necessario,

quindi, fornire il nuovo modello di un sistema di controllo dei giorni confermati o meno dai pazienti, non solo per la data dell'intervento, ma anche per la data della visita anestesiológica e dei due prelievi ematici cui devono sottoporsi i pazienti definiti critici o idonei.

Secondo l'esperienza del Policlinico, inoltre, vi sono pazienti che non intendono essere operati, non per mancanza di disponibilità in una certa giornata piuttosto che in altre, ma perché non pienamente convinti della scelta di sottoporsi ad un intervento chirurgico. Quando si individuano questi casi, in seguito all'annullamento dell'intervento per diverse settimane successive, risulta poco produttivo continuare a contattare il paziente per ciascuna pianificazione settimanale e così è possibile decidere di sospendere la selezione di tale paziente per la pianificazione di alcune settimane.

Tale possibilità può essere gestita mediante un parametro associato a ciascun paziente che, se attivato, fa sì che il paziente non risulti tra le persone selezionate nella programmazione della settimana in analisi.

Per riassumere, il problema che ci si è posti nella costruzione del modello proposto, consiste nell'assegnare ciascun periodo, in cui è partizionata una giornata dell'ultima settimana dell'orizzonte temporale T , e ciascuna sala operatoria, tra quelle dedicate all'unità di Ortopedia, ad un solo chirurgo tra quelli appartenenti alla specialità chirurgica stessa. Si vuole inoltre determinare, su n pazienti, visitati in libera professione da uno dei chirurghi dell'insieme W o accedenti mediante servizio sanitario pubblico, quanti e quali di questi devono essere operati nella settimana in analisi.

La funzione obiettivo intende minimizzare i tempi di attesa dei pazienti, pesati con coefficienti di priorità basati sulla condizione clinica e sulla deadline associate al paziente stesso al momento dell'inserimento in lista d'attesa. Intende inoltre minimizzare il numero di interventi non protesici programmati in overtime su tutta la settimana e il numero di tipi di interventi protesici differenti, programmati in tutte le mattine, eccedente il valore di M . Per le attività preoperatorie, infine, viene minimizzato il numero di visite aneste-

siologiche e di prelievi ematici non pianificati per pazienti definiti critici o idonei rispettivamente e il numero di visite e di prelievi resi disponibili dal personale addetto e rimasti inutilizzati nell'arco dell'orizzonte temporale.

4.2 Lista dei parametri

I	insieme dei pazienti iscritti alle liste d'attesa dei vari chirurghi dell'unità operativa considerata o appartenenti alla lista condivisa del reparto, $i \in \{1, 2, \dots, n\}$;
K	insieme delle sale operatorie dedicate giornalmente all'unità operativa in analisi, $k \in \{1, 2, \dots, c\}$
T	insieme dei giorni dell'orizzonte temporale di pianificazione delle visite anestesologiche, dei prelievi ematici e degli interventi, $t \in \{1, 2, \dots, b\}$;
P	insieme dei periodi che compongono ciascuna giornata della settimana di pianificazione degli interventi, $p \in \{1, 2, \dots, P\}$;
$dispI_{it}$	$\begin{cases} 0 & \text{se il paziente } i \text{ è stato contattato telefonicamente e ha comunicato di non essere disponibile a sottoporsi all'operazione chirurgica programmata il giorno } t \text{ della settimana di pianificazione degli interventi} \\ 1 & \text{altrimenti;} \end{cases}$
Δ_i	tempo di permanenza del paziente i in lista d'attesa, ovvero il tempo trascorso tra il referral del paziente e il primo giorno della settimana di pianificazione degli interventi;
ρ_i	coefficiente di priorità del paziente i connesso al suo stato clinico e al rischio evolutivo della sua patologia;
DL_i	deadline del paziente i ;
π_i	variabile in funzione del valore DL_i che indica l'avvicinarsi, con lo scorrere del tempo, alla deadline del paziente i ;
$indisp_i$	$\begin{cases} 1 & \text{se si desidera che il paziente } i \text{ non venga considerato per la pianificazione della settimana in analisi} \\ 0 & \text{altrimenti;} \end{cases}$
P_{WT}	peso in funzione obiettivo relativo al tempo d'attesa dei pazienti;
P_{OT}	peso in funzione obiettivo relativo agli interventi non protesici pianificati in overtime;

F_k	numero massimo di interventi non protesici pianificabili in overtime nella sala operatoria k , in ciascun periodo della settimana di pianificazione degli interventi;
$Cover$	costo connesso ad un intervento non protesico pianificato in overtime;
M	numero massimo di tipi diversi di operazioni protesiche che è possibile eseguire in una sala operatoria, in ciascuna mattinata della settimana di pianificazione degli interventi;
P_{SP}	peso in funzione obiettivo relativo al superamento del numero massimo, M , di tipi diversi di interventi protesici che è possibile pianificare in una sala operatoria in una certa mattinata della settimana in analisi;
C_{sur}	costo connesso al superamento del numero massimo, M , di tipi diversi di interventi protesici programmabili in una sala operatoria in una certa mattinata della settimana in analisi;
P_V	peso in funzione obiettivo relativo alle mancate visite anestesiologiche;
C	costo connesso all'ospedalizzazione di un paziente;
P_{AV}	peso in funzione obiettivo relativo alle visite anestesiologiche rese disponibili, ma non eseguite su alcun paziente;
C_t	numero di visite ambulatoriali rese disponibili dai medici anestesisti nel giorno t , dove $t \in T$;
P_{BS}	peso in funzione obiettivo relativo ai mancati prelievi ematici;
P_B	peso in funzione obiettivo relativo ai prelievi ematici resi disponibili dal personale addetto, ma non eseguiti su alcun paziente;
$Prel_t$	numero di prelievi ematici resi disponibili dal personale addetto nel giorno t , dove $t \in T$;
W	insieme dei chirurghi appartenenti all'unità operativa in analisi, $w \in \{1, 2, \dots, m\}$;
$I_{Reparto}$	insieme dei pazienti appartenenti alla lista d'attesa del reparto, condivisa da tutti i chirurghi dell'unità operativa in questione;

I_w	sottoinsieme di I costituito dai pazienti visitati in libera professione e iscritti alla lista personale del chirurgo $w \in W$, tale che: $I_w \cap I_h = \emptyset \quad \forall w, h \in W$ con $w \neq h$, $\cup_{w=1}^m I_w = I \setminus I_{Reparto}$ e tale che W risulti ordinato nel seguente modo: $ I_w \sum_{i \in I_w} \rho_i \leq I_{w+1} \sum_{i \in I_{w+1}} \rho_i \quad \forall w \in W$;
R	insieme delle tipologie di intervento effettuabili dall'unità operativa in analisi;
I_r	sottoinsieme di I costituito dai pazienti che devono sottoporsi ad un intervento di tipo r , dove $r \in R$;
N	numero massimo di interventi che è possibile eseguire nei singoli periodi di una certa giornata in una sala operatoria;
$L_{Reparto}$	estremo inferiore del numero minimo di slot temporali dedicate settimanalmente allo svolgimento di interventi appartenenti alla lista di reparto;
$U_{Reparto}$	estremo superiore del numero massimo di slot temporali dedicate settimanalmente allo svolgimento di interventi appartenenti alla lista di reparto;
Q	insieme delle classi di intervento eseguibili dall'unità operativa in analisi;
$Classe_q$	sottoinsieme di R costituito dalle diverse tipologie di intervento appartenenti alla classe q , tale che $q \in Q$;
S_k	numero massimo di operazioni chirurgiche eseguibili nella sala operatoria k , in ciascun periodo delle giornate appartenenti alla settimana di pianificazione degli interventi, determinato in base all'orario di apertura della sala operatoria;
$trauma_{ktp}$	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ se la sala operatoria } k \text{ nel periodo } p \text{ del giorno } t \text{ della} \\ \text{settimana di pianificazione degli interventi è dedicata alla} \\ \text{traumatologia} \\ 0 \text{ altrimenti;} \end{array} \right.$
L_w	estremo inferiore del numero minimo di slot temporali che è possibile assegnare al chirurgo w dell'unità operativa in questione;
U_w	estremo superiore del numero massimo di slot temporali che è possibile assegnare al chirurgo w dell'unità operativa in questione;

$I_{Protesici}$	sottoinsieme di I costituito dai pazienti che devono sottoporsi ad un intervento protesico;
$I_{NonProtesici}$	sottoinsieme di I costituito dai pazienti che devono sottoporsi ad un intervento non protesico;
$confA_{it}$	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ se il paziente } i \text{ è stato contattato telefonicamente e ha confermato la sua disponibilità a sottoporsi alla visita anestesiológica programmata il giorno } t \text{ dell'orizzonte temporale} \\ 0 \text{ altrimenti;} \end{array} \right.$
$dispA_{it}$	$\left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ se il paziente } i \text{ è stato contattato telefonicamente e ha comunicato di non essere disponibile a sottoporsi alla visita anestesiológica programmata il giorno } t \text{ dell'orizzonte temporale} \\ 1 \text{ altrimenti;} \end{array} \right.$
μ_i	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ se il paziente } i \text{ è stato definito "critico", ovvero si pensa possa aver bisogno di una visita anestesiológica di maggior approfondimento rispetto a quelle abituali} \\ 0 \text{ altrimenti;} \end{array} \right.$
h_i	numero di giorni necessari per effettuare le eventuali consulenze da parte di vari specialisti, che si pensa possano servire per ottenere una visita anestesiológica completa del paziente i , tale che $h_i > 1$, intero;
J_t	numero di visite anestesiológicas occupate il giorno $t \in T$ da pazienti operati nelle settimane precedenti a quella in analisi per la pianificazione degli interventi;
$confP_{1it}$	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ se il paziente } i \text{ è stato contattato telefonicamente e ha confermato la sua disponibilità a sottoporsi al primo prelievo ematico programmato il giorno } t \text{ dell'orizzonte temporale} \\ 0 \text{ altrimenti;} \end{array} \right.$
$dispP_{it}$	$\left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ se il paziente } i \text{ è stato contattato telefonicamente e ha comunicato di non essere disponibile a sottoporsi al prelievo ematico programmato il giorno } t \text{ dell'orizzonte temporale} \\ 1 \text{ altrimenti;} \end{array} \right.$

ν_i	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ se il paziente } i \text{ è stato definito "idoneo", ovvero si pensa debba essere sottoposto a trasfusioni durante l'intervento e il suo stato clinico e la sua età sono compatibili con la possibilità di sottoporlo a due prelievi ematici} \\ 0 \text{ altrimenti;} \end{array} \right.$
$confP2_{it}$	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ se il paziente } i \text{ è stato contattato telefonicamente e ha confermato la sua disponibilità a sottoporsi al secondo prelievo ematico programmato il giorno } t \text{ dell'orizzonte temporale} \\ 0 \text{ altrimenti;} \end{array} \right.$
Occ_t	numero di prelievi ematici occupati il giorno $t \in T$ da pazienti operati nelle settimane precedenti a quella in analisi per la pianificazione degli interventi;
E_w	numero di squadre chirurgiche del chirurgo w , ovvero una equipe per ogni medico chirurgo;
D	insieme delle relazioni $d = \langle w_1, w_2, d_r \rangle$ determinate dai medici chirurghi dell'unità operativa in analisi che esplicitano la richiesta del chirurgo $w_1 \in W$ di essere affiancato dal collega $w_2 \in W$, chirurgo specializzato nel tipo di intervento $r_d \in R$ che si andrà a svolgere;
$confI_{it}$	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ se il paziente } i \text{ è stato contattato telefonicamente e ha confermato la sua disponibilità a sottoporsi all'intervento chirurgico programmato il giorno } t \text{ dell'orizzonte temporale} \\ 0 \text{ altrimenti;} \end{array} \right.$

4.3 Variabili decisionali

$$\epsilon_i = \begin{cases} 1 & \text{se per il paziente } i \text{ non è stata pianificata la visita ane-} \\ & \text{stesiologica con appuntamento ambulatoriale nell'arco} \\ & \text{dell'orizzonte temporale} \\ 0 & \text{altrimenti;} \end{cases}$$

$$\zeta_i = \begin{cases} 1 & \text{se per il paziente } i \text{ non sono stati pianificati i prelievi} \\ & \text{ematici nell'arco dell'orizzonte temporale} \\ 0 & \text{altrimenti;} \end{cases}$$

$$y_{wktpr} = \begin{cases} 1 & \text{se il chirurgo } w \text{ viene associato alla sala operatoria } k \text{ nel} \\ & \text{periodo } p \text{ del giorno } t \text{ della settimana di pianificazione} \\ & \text{degli interventi, per eseguire operazioni di tipo } r \\ 0 & \text{altrimenti;} \end{cases}$$

$$g_{wktpq} = \begin{cases} 1 & \text{se il chirurgo } w \text{ è associato alla sala operatoria } k \text{ nel} \\ & \text{periodo } p \text{ del giorno } t \text{ della settimana di pianificazione} \\ & \text{degli interventi, per eseguire operazioni di classe } q \\ 0 & \text{altrimenti;} \end{cases}$$

- x_{iktp} variabile che indica se il paziente i dev'essere operato nella sala operatoria k e nel periodo p del giorno t ($x_{iktp} = 1$) o meno ($x_{iktp} = 0$), tale che: $x_{iktp} \in \{0, dispI_{it}\}$, dove $t \in \{b - 4, \dots, b\}$;
- z_i variabile che indica se il paziente i è stato selezionato per essere operato durante la settimana di pianificazione degli interventi ($z_i = 0$) o meno ($z_i = 1$), tale che: $z_i \in \{indisp_i, 1\}$;
- f_{ktp} numero delle operazioni non protesiche pianificate in overtime nella sala operatoria k , nel periodo p del giorno t , tale che: $f_{ktp} \in \{0, \dots, F_k\}$, dove $t \in \{b - 4, \dots, b\}$;
- η_{kt} numero di tipi diversi di interventi protesici che si svolgono nella sala operatoria k , nella mattina del giorno t , eccedenti M , tale che: $\eta_{kt} \geq 0$ intero, dove $t \in \{b - 4, \dots, b\}$;
- ψ_t numero delle visite rese disponibili dai medici anestesisti per il giorno t , ma non eseguite su alcun paziente, tale che: $\psi_t \in \{0, \dots, C_t\}$, dove $t \in T$;
- Φ_t numero dei prelievi ematici resi disponibili dal personale addetto per il giorno t , ma non eseguiti su alcun paziente, tale che: $\Phi_t \in \{0, \dots, Prel_t\}$, dove $t \in T$;
- φ_{it} variabile che indica se la visita anestesiologicala del paziente i è stata pianificata in regime ambulatoriale il giorno t ($\varphi_{it} = 1$) o meno ($\varphi_{it} = 0$), tale che: $\varphi_{it} \in \{confA_{it}, dispA_{it}\}$, dove $t \in T$;
- σ_{it} variabile che indica se il primo prelievo ematico del paziente i è stato pianificato il giorno t ($\sigma_{it} = 1$) o meno ($\sigma_{it} = 0$), tale che: $\sigma_{it} \in \{confP1_{it}, dispP_{it}\}$, dove $t \in T$;
- λ_{it} variabile che indica se il secondo prelievo ematico del paziente i è stato pianificato il giorno t ($\lambda_{it} = 1$) o meno ($\lambda_{it} = 0$), tale che: $\lambda_{it} \in \{confP2_{it}, dispP_{it}\}$, dove $t \in T$;

4.4 Modello matematico

$$\begin{aligned}
MinZ = & \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c \sum_{t=b-4}^b \sum_{p=1}^P x_{ikt p} (t-26) \Delta_i \rho_i \pi_i + \sum_{i=1}^n z_i (5 \Delta_i) \rho_i \pi_i \right) P_{WT} + \\
& + \sum_{k=1}^c \sum_{t=b-4}^b \left(\sum_{p=1}^P P_{OT} f_{kt p} Cover + P_{SP} \eta_{kt} C_{sur} \right) + \\
& + P_V \left(\sum_{i=1}^n \epsilon_i \right) C + P_{AV} \sum_{t=1}^b \psi_t + P_{BS} \sum_{i=1}^n \zeta_i + P_B \sum_{t=1}^{b-5} \Phi_t
\end{aligned}$$

$$\sum_{i \in I_w \cap I_r} x_{ikt p} - N y_{wkt p r} \leq 0 \quad (4.1)$$

$$\forall w = 1, \dots, m; \quad \forall r \in R; \quad \forall k = 1, \dots, c; \quad \forall t = b-4, \dots, b; \quad \forall p = 1, \dots, P$$

$$\sum_{i \in I_{Reparto} \cap I_r} x_{ikt p} - N \sum_{w=1}^m y_{wkt p r} \leq 0 \quad (4.2)$$

$$\forall r \in R; \quad \forall k = 1, \dots, c; \quad \forall t = b-4, \dots, b; \quad \forall p = 1, \dots, P$$

$$\sum_{i \in I_{Reparto}} \sum_{k=1}^c \sum_{t=b-4}^b \sum_{p=1}^P x_{ikt p} \geq L_{Reparto} \quad (4.3)$$

$$\sum_{i \in I_{Reparto}} \sum_{k=1}^c \sum_{t=b-4}^b \sum_{p=1}^P x_{ikt p} \leq U_{Reparto} \quad (4.4)$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{t=b-4}^b \sum_{p=1}^P x_{ikt p} + z_i = 1 \quad (4.5)$$

$$\forall i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{r \in \text{Classe}_q} y_{wktpr} - S_k g_{wkt p q} \leq 0 \quad (4.6)$$

$$\forall q \in Q; \quad \forall w = 1, \dots, m; \quad \forall k = 1, \dots, c; \quad \forall t = b-4, \dots, b; \quad \forall p = 1, \dots, P$$

$$\sum_{w=1}^m \sum_{q \in Q} g_{wkt p q} \leq 1 - \text{trauma}_{ktp} \quad (4.7)$$

$$\forall k = 1, \dots, c; \quad \forall t = b-4, \dots, b; \quad \forall p = 1, \dots, P;$$

$$\sum_{w=1}^m \sum_{r \in \text{Classe}_1} y_{wkt1r} \leq M + \eta_{kt} \quad (4.8)$$

$$\forall k = 1, \dots, c; \quad \forall t = b-4, \dots, b$$

$$\sum_{w=1}^m \sum_{r \in \text{Classe}_1} y_{wkt2r} = 0 \quad (4.9)$$

$$\forall k = 1, \dots, c; \quad \forall t = b-4, \dots, b$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{t=b-4}^b \sum_{p=1}^P \sum_{q \in Q} g_{wkt p q} \geq L_w \quad (4.10)$$

$$\forall w = 1, \dots, m$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{t=b-4}^b \sum_{p=1}^P \sum_{q \in Q} g_{wktpq} \leq U_w \quad (4.11)$$

$$\forall w = 1, \dots, m$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{t=b-4}^b \sum_{p=1}^P \sum_{q \in Q} (g_{wktpq} - g_{(w+1)ktpq}) \geq 0 \quad (4.12)$$

$$\forall w = 1, \dots, m-1$$

$$\sum_{i \in I_{Protesici}} x_{iktp} \leq S_k \quad (4.13)$$

$$\forall k = 1, \dots, c; \quad \forall t = b-4, \dots, b; \quad \forall p = 1, \dots, P$$

$$\sum_{i \in I_{NonProtesici}} x_{iktp} \leq S_k + f_{ktp} \quad (4.14)$$

$$\forall k = 1, \dots, c; \quad \forall t = b-4, \dots, b; \quad \forall p = 1, \dots, P$$

$$\sum_{t=1}^b \varphi_{it} + \epsilon_i = \mu_i(1 - z_i) \quad (4.15)$$

$$\forall i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{p=1}^P \mu_i x_{iktp} \leq \sum_{a < t-h_i; a \in T} \varphi_{ia} + \epsilon_i \quad (4.16)$$

$$\forall i = 1, \dots, n; \quad \forall t = b-4, \dots, b$$

$$\sum_{i=1}^n \varphi_{it} + \psi_t = C_t - J_t \quad (4.17)$$

$$\forall t = 1, \dots, b$$

$$\sum_{t=1}^{b-5} \sigma_{it} + \zeta_i = \nu_i(1 - z_i) \quad (4.18)$$

$$\forall i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{p=1}^P \nu_i x_{ikt p} - \zeta_i \leq \sum_{a < t-20: a \in T} \sigma_{ia} \quad (4.19)$$

$$\forall i = 1, \dots, n; \quad \forall t = b-4, \dots, b$$

$$\sum_{t=1}^{b-5} \lambda_{it} + \zeta_i = \nu_i(1 - z_i) \quad (4.20)$$

$$\forall i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{p=1}^P \nu_i x_{ikt p} - \zeta_i \leq \sum_{t-15 < a < t-5: a \in T} \lambda_{ia} \quad (4.21)$$

$$\forall i = 1, \dots, n; \quad \forall t = b-4, \dots, b$$

$$\sum_{i=1}^n (\sigma_{it} + \lambda_{it}) + \Phi_t = Prel_t - Occ_t \quad (4.22)$$

$$\forall t = 1, \dots, b-5$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{q \in Q} g_{wktpq} \leq E_w \quad (4.23)$$

$$\forall w = 1, \dots, m; \quad \forall t = b - 4, \dots, b; \quad \forall p = 1, \dots, P$$

$$\sum_{k=1}^c \left(y_{w_1ktpr_d} + \sum_{r \in R} y_{w_2ktpr} \right) \leq 1 \quad (4.24)$$

$$\forall d \in D : d = \langle w_1, w_2, r_d \rangle; \quad \forall t = b - 4, \dots, b; \quad \forall p = 1, \dots, P$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{p=1}^P x_{ikt p} \geq \text{conf} I_{it} \quad (4.25)$$

$$\forall i = 1, \dots, n; \quad \forall t = b - 4, \dots, b$$

$$x_{ikt p} \in \{0, 1\} \quad (4.26)$$

$$\forall i = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, c; \quad \forall t = b - 4, \dots, b; \quad \forall p = 1, \dots, P$$

$$z_i \in \{0, 1\} \quad (4.27)$$

$$\forall i = 1, \dots, n$$

$$f_{kt p} \in \{0, \dots, F_k\} \quad (4.28)$$

$$\forall k = 1, \dots, c; \quad \forall t = b - 4, \dots, b; \quad \forall p = 1, \dots, P$$

$$\eta_{kt} \geq 0 \quad (4.29)$$

$$\forall k = 1, \dots, c; \quad \forall t = b - 4, \dots, b$$

$$\epsilon_i \in \{0, 1\} \quad (4.30)$$

$$\forall i = 1, \dots, n$$

$$\psi_t \in \{0, \dots, C_t\} \quad (4.31)$$

$$\forall t = 1, \dots, b$$

$$\zeta_i \in \{0, 1\} \quad (4.32)$$

$$\forall i = 1, \dots, n$$

$$\Phi_t \in \{0, \dots, Prel_t\} \quad (4.33)$$

$$\forall t = 1, \dots, b - 5$$

$$y_{wktpr} \in \{0, 1\} \quad (4.34)$$

$$\forall w = 1, \dots, m; \quad k = 1, \dots, c; \quad \forall t = b - 4, \dots, b; \quad \forall p = 1, \dots, P; \quad \forall r \in R$$

$$g_{wktpq} \in \{0, 1\} \quad (4.35)$$

$$\forall w = 1, \dots, m; \quad k = 1, \dots, c; \quad \forall t = b - 4, \dots, b; \quad \forall p = 1, \dots, P; \quad \forall q \in Q$$

$$\begin{aligned}\varphi_{it} &\in \{0, 1\} & (4.36) \\ \forall i = 1, \dots, n; \quad \forall t = 1, \dots, b\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{it} &\in \{0, 1\} & (4.37) \\ \forall i = 1, \dots, n; \quad \forall t = 1, \dots, b - 5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{it} &\in \{0, 1\} & (4.38) \\ \forall i = 1, \dots, n; \quad \forall t = 1, \dots, b - 5\end{aligned}$$

4.5 Descrizione analitica del modello

La funzione obiettivo minimizza i tempi di attesa dei pazienti, pesati con coefficienti di priorità basati sulla condizione clinica e sulla deadline associate a ciascun paziente. Minimizza inoltre il numero di interventi non protesici pianificati in overtime su tutta la settimana in analisi e il numero di tipi diversi di interventi protesici, programmati nell'arco della settimana, eccedente il valore di M . La funzione obiettivo infine minimizza il numero di visite anestesiolgiche e di prelievi ematici, di pazienti definiti critici o idonei, non pianificati e il numero di visite e di prelievi resi disponibili e rimasti inutilizzati nell'arco dell'orizzonte temporale.

I vincoli 4.1 sono utilizzati per attivare la variabile binaria y_{wktpr} in funzione del valore assunto da x_{iktpr} . Assicurano infatti che, se un paziente i appartiene alla lista personale di un chirurgo dell'unità operativa in analisi e deve

eseguire un intervento di tipo r , allora la sala operatoria occupata per tale intervento, secondo la pianificazione fatta, deve risultare assegnata nello stesso periodo e nello stesso giorno al relativo chirurgo e dev'essere adibita allo svolgimento di un intervento di tipo r .

Analogamente, i vincoli 4.2, assicurano l'assegnazione della sala operatoria associata all'intervento del paziente i , appartenente alla lista di reparto, a uno dei medici chirurghi dell'unità operativa in questione, nello stesso periodo e giornata programmati per l'intervento. Il numero massimo e minimo di operazioni, selezionate dalla lista di reparto, che è possibile eseguire nell'arco della settimana in analisi, secondo l'organizzazione interna del presidio ospedaliero, è determinato nei vincoli 4.3 e 4.4.

I vincoli 4.5, invece, assicurano che l'operazione di ciascun paziente verrà programmata in una sola sala operatoria e in un unico periodo di una delle giornate della settimana di pianificazione degli interventi oppure verrà posticipata alle settimane successive.

E' stato usato un ulteriore "big M" nei vincoli 4.6 per attivare, in funzione del valore assunto da y_{wktpr} , la variabile g_{wktpq} che indica l'allocazione al chirurgo w di una sala operatoria adibita allo svolgimento di interventi appartenenti ad una certa classe q . In particolare, con i vincoli 4.7, ci si assicura che ogni sala operatoria, oltre ad essere assegnata ad un solo chirurgo dell'unità operativa in analisi, in ciascun periodo, dev'essere anche dedicata ad interventi appartenenti ad un'unica classe di operazioni programmabili (purché nel periodo in questione la sala operatoria non sia dedicata ad interventi di traumatologia).

Alcune condizioni sulla pianificazione degli interventi protesici vengono poste nei vincoli 4.8 e 4.9. Nei 4.8 viene valutato il numero di tipi diversi di interventi di classe 1, ovvero protesici, pianificati le mattine (periodo 1) della settimana in analisi, eccedente la soglia di tolleranza M , stabilita dai dirigenti dell'unità operativa in questione. I vincoli 4.9, invece, assicurano, per questioni organizzative interne al dipartimento considerato, la pianificazione degli interventi protesici nei soli periodi mattutini.

Il numero di slot temporali assegnato a ciascun chirurgo dell'unità operativa in analisi, nell'arco della settimana di pianificazione degli interventi, è costretto dai vincoli 4.10 e 4.11 ad appartenere all'intervallo fissato e intero $[L_w; U_w]$. I vincoli 4.12, invece, impongono l'assegnazione di un maggior numero di slot temporali ai chirurghi con le liste d'attesa più consistenti, pesate per priorità dei pazienti iscritti.

Nei vincoli 4.13 e 4.14 si impone che possano essere pianificati interventi in overtime solo interventi non protesici, mentre le operazioni di classe 1, pianificate in ciascun periodo, devono essere al più S_k . Il superamento di tale limite con la pianificazione di interventi non protesici in overtime, in ciascun periodo, è valutato nei vincoli 4.14 e penalizzato in funzione obiettivo.

La programmazione delle visite anestesiolgiche dei pazienti, definiti critici, viene gestita dai vincoli 4.15, 4.16 e 4.17. Se un paziente viene selezionato per essere operato nella settimana di pianificazione degli interventi ed è stato definito critico, la sua visita anestesiolgica può essere pianificata in al più un giorno dell'orizzonte temporale (vincoli 4.15). Se viene pianificata tale visita per il paziente i , per i vincoli 4.16, dev'essere programmata con un anticipo di almeno h_i giorni dalla data stabilita per l'intervento, tempo necessario per effettuare i consulti specialistici che si pensa possano servire per ottenere un quadro clinico del paziente più completo. I vincoli 4.17 gestiscono la pianificazione delle visite in base a quante ne sono state rese disponibili dai medici anestesisti, in ciascuna giornata dell'orizzonte temporale, e non ancora occupate da pazienti operati nelle settimane precedenti a quella in analisi per la pianificazione degli interventi.

Analogamente la pianificazione dei prelievi ematici viene gestita nei vincoli 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 e 4.22. I vincoli 4.18 e 4.20 garantiscono che, se un paziente viene selezionato per essere operato nella settimana di pianificazione degli interventi ed è stato definito idoneo, il primo e il secondo prelievo rispettivamente, a cui deve sottoporsi il paziente, viene pianificato in al più una giornata dell'orizzonte temporale. Se il primo prelievo viene pianificato, i vincoli 4.19 assicurano che avvenga con un anticipo di 20 giorni dalla data

indicata per l'intervento. Se viene pianificato anche il secondo prelievo cui deve sottoporsi il paziente, dev'essere eseguito in un intervallo che va da 15 giorni a 5 giorni prima dell'intervento per i vincoli 4.21. I vincoli 4.22, infine, gestiscono la pianificazione dei prelievi in base a quanti ne sono stati resi disponibili dal personale addetto, in ciascuna giornata dell'orizzonte temporale, e non ancora occupati da pazienti operati nelle settimane precedenti a quella in analisi per la pianificazione degli interventi.

Nel modello teorico erano stati inseriti dei vincoli per garantire che, in ciascuna giornata della settimana di pianificazione degli interventi, le sale operatorie assegnate a ciascuna specialità chirurgica fossero al più tante quante le squadre chirurgiche afferenti all'unità operativa considerata. Nel modello pratico, invece, l'assegnazione delle sale operatorie riguarda i singoli chirurghi e dunque il vincolo 4.23 richiederà che a ciascun chirurgo non venga assegnata più di una sala operatoria nello stesso periodo.

Le richieste, che possono essere fatte dai medici chirurghi del reparto considerato, di essere affiancati, durante un particolare tipo di intervento r_d , da un chirurgo specialista della medesima unità operativa, vengono gestite dai vincoli 4.24. Si richiede infatti che ad un chirurgo w_2 non venga assegnata alcuna sala operatoria nel periodo in cui è stata richiesta la sua presenza dal chirurgo w_2 per eseguire un intervento del tipo coinvolto nella relazione $d = \langle w_1, w_2, r_d \rangle$.

I vincoli 4.25 garantiscono lo svolgimento dell'intervento del paziente i nel giorno programmato t nel caso in cui, dopo essere stato contattato telefonicamente, abbia confermato la sua disponibilità. Ciò significa che, anche in seguito a ripianificazioni, dovute al cambiamento dei parametri che indicano la disponibilità e la conferma, data dai pazienti contattati, nei giorni programmati per gli interventi, per le visite anestesilogiche e per i prelievi ematici, le date delle operazioni programmate e confermate non subiranno spostamenti, purché restino soddisfatti i vincoli 4.16, 4.19 e 4.21.

Da 4.26 a 4.38, infine, si definiscono le variabili decisionali del modello.

Capitolo 5

Costruzione di uno strumento di supporto alla pianificazione e interpretazione dei risultati

Il modello pratico, presentato nel Capitolo 4, è stato implementato sul programma di ottimizzazione “IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.4”, utilizzando istanze realistiche fornite dal reparto di Ortopedia del Policlinico di Modena con dati perturbati per ragioni di privacy.

Al fine di costruire uno studio pilota, le informazioni sono state fornite in un file Excel contenente pseudo ID per ciascun paziente attraverso il quale i soli responsabili del reparto possono risalire al nominativo, la classe di priorità associatagli, la data di entrata in lista, il tempo di attesa valutato in giorni e, infine, il tipo di diagnosi certificata. Al momento è stato possibile associare una classe di età solo a parte dei pazienti iscritti in lista.

E' stata quindi creata un'ulteriore tabella Excel contenente le informazioni fornite relative a tutti i pazienti e colonne aggiuntive riportanti il valore di π_i di ciascuna persona in lista, i numeri associati ai parametri μ_i e ν_i che indicano se un paziente è definito “critico” o “idoneo”, in base alla necessità di sottoporlo rispettivamente ad una visita anestesiologicala approfondita o a prelievi ematici prima dell'intervento, i giorni di anticipo con cui dev'essere

svolta l'eventuale visita rispetto alla data dell'operazione di ciascun paziente e il coefficiente associato all'indisponibilità di ogni paziente a sottoporsi ad intervento chirurgico.

Per implementare il modello, usando tali informazioni come input, è stato costruito un Database Access, grazie al quale è stato possibile tradurre in forma utile alcune delle informazioni fornite dal Policlinico e, mediante la costruzione di apposite Query, si è ottenuta una più chiara lettura dei dati restituiti in output.

Inizialmente è stata creata, all'interno del DB, una tabella volta alla lettura e alla traduzione delle informazioni relative alla lista completa dei pazienti, contenute nel file Excel. I dati manipolati nella tabella sono quelli relativi al tempo di attesa in lista di ciascun paziente, che deve essere aggiornato a seconda della settimana considerata per la pianificazione degli interventi. Per fare questo, è stata creata una Query da eseguire ogni qual volta si intende pianificare degli interventi nella settimana successiva a quella in analisi. La Query provvederà ad aggiornare le date, in tutte le tabelle in cui sono presenti, traslandole in avanti di 7 giorni. Una seconda Query aggiorna e modifica i valori dei tempi di attesa nella tabella contenente le informazioni sui pazienti. Quest'ultima Query ha anche il compito di inserire i valori numerici che si vogliono associare alle classi di priorità di ciascun paziente, in quanto la classificazione usata dal Policlinico segue un ordinamento alfabetico che dev'essere quindi tradotto in forma numerica per poter restituire dati utili in fase implementativa.

Creando un collegamento dal progetto di Open Programming Language (OPL) sviluppato per l'implementazione del modello, al Database Access, il programma ha la possibilità di leggere i dati direttamente dalla tabella del DB contenente le informazioni riguardanti i pazienti.

Analogamente, mediante la creazione di ulteriori tabelle nel DB, è possibile fornire al risolutore le informazioni riguardanti:

- i chirurghi (valore numerico identificativo di ciascun chirurgo, numero minimo e massimo di slot temporali assegnabili e numero di squadre

chirurgiche afferenti a ciascun medico chirurgo),

- le sale operatorie dedicate al reparto di Ortopedia (nome della sala, numero massimo di operazioni eseguibili in orario di apertura regolare e in overtime),
- i giorni dell'orizzonte temporale in analisi (numero di visite anestesologiche e di prelievi ematici resi disponibili in ciascun giorno dal personale addetto e quante di queste sono già state prenotate per pazienti operati nelle settimane precedenti a quella in analisi),
- la disponibilità e le conferme dei pazienti a sottoporsi, nei giorni programmati, ad intervento chirurgico o ad eventuali visite anestesologiche e prelievi ematici,
- le tipologie di intervento eseguibili e le relative classi di appartenenza,
- le slot temporali dedicate alla traumatologia,
- le combinazioni $\langle w_1, w_2, r_d \rangle$ che rappresentano le eventuali richieste dei chirurghi di essere affiancati da un collega del reparto di Ortopedia per lo svolgimento di una certa tipologia di intervento.

Infine si è richiesto, nel progetto creato, di stampare in una tabella del DB la soluzione ottimale trovata, riguardante l'allocazione delle slot temporali, disponibili per gli interventi nella settimana in analisi, ai chirurghi del reparto di Ortopedia, ovvero vengono registrati i valori numerici identificativi dei medici a cui viene allocata una slot temporale, della giornata, del periodo e della sala operatoria che caratterizzano la slot e della classe di intervento a cui è dedicata. In una seconda tabella, invece, vengono fatte stampare le informazioni relative alla programmazione ottimale trovata, ovvero si registrano, associati al valore numerico identificativo di ciascun giorno della settimana di pianificazione degli interventi, i pazienti selezionati, la sala operatoria e il periodo della giornata associati a tale paziente e infine si registra l'identificativo numerico delle giornate in cui sono stati programmati gli eventuali

prelievi ematici e visite anestesilogiche del paziente.

Per rendere la lettura dei risultati più semplice e chiara, sono state create due Query che restituiscono le medesime informazioni relative all'assegnamento delle slot e alla programmazione delle procedure chirurgiche, ma non più sotto forma di numero identificativo. I valori identificativi, nella tabella con gli output dell'assegnamento, vengono infatti sostituiti rispettivamente dai nominativi dei medici chirurghi, a cui vengono assegnate le slot temporali, dalle date relative alla settimana analizzata per la pianificazione degli interventi, dall'orario e dal nominativo della sala operatoria che identificano la slot e dal nominativo della classe di intervento a cui è dedicata.

I valori identificativi nella tabella con gli output della programmazione, invece, vengono sostituiti rispettivamente dalla data, dal nominativo dei pazienti selezionati e dal nome della sala operatoria associata, dall'orario in cui viene programmato l'intervento e infine dalle date in cui vengono pianificate le eventuali attività preoperatorie. In quest'ultima tabella, per avere un quadro più completo della programmazione ottenuta, vengono aggiunte quattro colonne riportanti, per ciascun paziente selezionato, la classe di priorità (secondo la classificazione alfabetica usata dal Policlinico), la tipologia di intervento, la classe a cui appartiene e il nominativo del medico chirurgo a cui è affidata l'operazione.

La facilità con cui è possibile inserire altri pazienti in lista, modificare i valori assegnati ai vari parametri e leggere i risultati restituiti, fa sì che il progetto creato per l'implementazione del modello risulti uno strumento molto utile ed effettivamente utilizzabile in un contesto reale di gestione delle attività chirurgiche di una struttura ospedaliera. Può essere inoltre usato come strumento per analisi di scenario sviluppate sulla pianificazione di più settimane, utili, per esempio, per stabilire la capacità ottimale delle slot temporali che potrebbero essere rese disponibili in futuro per lo svolgimento delle attività preoperatorie proposte nel modello. Per ottenere una programmazione su più settimane, sono state create diverse Query che, in seguito ad una prima pianificazione degli interventi e delle attività preoperatorie, permettono di

creare nuove tabelle contenenti l'elenco dei pazienti operati in tale settimana e la lista delle persone candidabili ad essere operate nelle settimane successive.

Prima di procedere con la pianificazione degli interventi nella settimana successiva a quella considerata, è possibile modificare con delle Query di aggiornamento i valori delle visite anestesologiche e dei prelievi ematici occupati e dunque non più disponibili per i pazienti da operare nelle settimane successive. Una volta eseguite le Query che si occupano di traslare di una settimana le date riportate nelle varie tabelle, è possibile procedere con una seconda pianificazione in cui verranno stabiliti gli interventi programmati per la settimana successiva a quella considerata.

Procedendo in questo modo è possibile quindi pianificare più settimane successive, selezionando di volta in volta i pazienti da una lista aggiornata, in cui sono state eliminate le persone operate nelle settimane precedenti, e considerando valori sempre aggiornati del livello di occupazione delle attività preoperatorie rese disponibili in ciascuna giornata. Un esempio di pianificazione su un orizzonte temporale più esteso di una settimana è riportato nel paragrafo successivo, in cui vengono descritte le istanze reali utilizzate e i risultati ottenuti dall'implementazione del modello.

5.1 Istanze reali e interpretazione dei risultati

Come già detto, il modello si pone il problema di assegnare le combinazioni slot temporali-sale operatorie, tra quelle assegnate al reparto di Ortopedia dalla MSS settimanale utilizzata dal Policlinico modenese, a ciascun chirurgo afferente al dipartimento considerato.

Secondo i dati forniti, al reparto di Ortopedia, vengono dedicate giornalmente 2 sale operatorie e 20 slot temporali a settimana. Solo 16 di queste vengono spartite sull'insieme dei 15 chirurghi, attivi presso il dipartimento di Ortopedia, per lo svolgimento di interventi programmabili, le restanti 4

vengono riservate ai pazienti di traumatologia, secondo la distribuzione riportata in Tabella 5.1.

Giorno	Periodo	Sala Operatoria
Lunedì	8:00-14:00	1
Martedì	14:00-20:00	1
Mercoledì	8:00-14:00	1
Venerdì	14:00-20:00	1

Tabella 5.1: Periodi e sale operatorie dedicate agli interventi di traumatologia.

Consultando le tabelle usate attualmente dal dipartimento in analisi, per l'assegnamento settimanale delle slot temporali ai vari chirurghi, è stato possibile definire il numero minimo L_w di periodi assegnati a ciascuno dei 15 medici chirurghi attivi presso il reparto di Ortopedia del Policlinico modenese. Non avendo invece avuto indicazioni sul numero massimo U_w di slot assegnabili, è stato arbitrariamente considerato il valore 8 per tutti i chirurghi, ovvero metà del numero complessivo di slot dedicate agli interventi programmabili di Ortopedia. Considerando che ciascun medico non può occupare contemporaneamente entrambe le sale operatorie, 8 risulta essere l'estremo superiore del numero di slot assegnabili a ciascun chirurgo.

$w \in W$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
L_w	4	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	2	0	0
U_w	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Tabella 5.2: Numero minimo e massimo di slot temporali assegnabili a ciascun chirurgo dell'insieme W .

A ciascun valore di $w \in W$ è associato il nominativo di uno dei chirurghi del reparto di Ortopedia, in modo tale che l'insieme W risulti ordinato per

lunghezza della lista d'attesa I_w di ciascun chirurgo, pesata per priorità dei pazienti iscritti, secondo la regola 5.1.

$$|I_w| \sum_{i \in I_w} \rho_i \leq |I_{w+1}| \sum_{i \in I_{w+1}} \rho_i \quad \forall w \in \{1, \dots, 14\} \quad (5.1)$$

Le istanze fornite dal dipartimento di Ortopedia del Policlinico di Modena sono state perturbate per ragioni di privacy e i dati quindi utilizzati per l'implementazione contano 1037 pazienti distribuiti nelle liste dei diversi chirurghi secondo i valori riportati in Tabella 5.3.

Chirurgo	N° pazienti iscritti in lista
1	225
2	219
3	167
4	74
5	78
6	65
7	48
8	30
9	18
10	25
11	22
12	30
13	2
14	12
15	22

Tabella 5.3: Dati perturbati relativi al numero di pazienti appartenenti alle liste di ciascun chirurgo.

I parametri ρ_i , che moltiplicano la lunghezza delle liste d'attesa di cia-

scun chirurgo nella regola 5.1, assumono come valori la traduzione numerica delle classi di priorità, associate a ciascun paziente, assegnate dai medici del Policlinico. La classificazione usata assegna la classe *A* ai pazienti più prioritari per stato clinico e rischio evolutivo della patologia, fino ad arrivare ai pazienti di classe *D* che risultano essere i più stabili clinicamente.

In principio, a tale classificazione sono stati associati, per l'implementazione del modello, i valori numerici riportati in Tabella 5.4.

Classe di priorità	Coefficiente di priorità ρ
A	4
B	3
C	2
D	1

Tabella 5.4: Valori numerici delle classi di priorità adottati per l'implementazione del modello.

A parità di valore della funzione π della deadline DL dei vari pazienti, si è studiato l'impatto che i coefficienti di priorità ρ possono avere sulla pianificazione, incrementando il gap tra i valori numerici associati alle classi di priorità. Una prova volta a verificare quanto detto è stata, per esempio, l'implementazione del modello utilizzando valori delle classi di priorità raddoppiati l'uno rispetto all'altro, partendo dalla classe meno prioritaria *D*, pari a 2, fino a quella più alta, classe *A*, associata al valore numerico 16. Il risultato ottenuto è la selezione di pazienti diversi che risultano appartenere a classi di priorità più alte rispetto ai pazienti selezionati nella programmazione fatta con i coefficienti di priorità classici (vedi Tabella 5.4). Per fare un esempio, i 5 pazienti di classe *B*, programmati nella seconda giornata della settimana in analisi, nella programmazione con i valori originali dei coefficienti di priorità, riportati in Figura 5.1, vengono sostituiti da pazienti di classe *A* nella pianificazione con i valori modificati (Figura 5.2).

Info Programmazione					
Data	id_Periodo	id_Sala_Operatoria	Idpaziente	Classe priorità	Nome intervento
29/05/2012	2	2	175	B	Non protesica
29/05/2012	2	2	176	B	Non protesica
29/05/2012	1	2	559	A	Non protesica
29/05/2012	1	2	574	B	Non protesica
29/05/2012	1	1	708	B	Non protesica
29/05/2012	1	1	709	B	Non protesica

Figura 5.1: Programmazione ottenuta usando la seguente conversione:
 classe A=4, classe B=3, classe C=2, classe D=1.

Info Programmazione					
Data	id_Periodo	id_Sala_Operatoria	Idpaziente	Classe priorità	Nome intervento
29/05/2012	1	2	1	A	Non protesica
29/05/2012	1	2	2	A	Non protesica
29/05/2012	2	2	559	A	Non protesica
29/05/2012	2	2	562	A	Non protesica
29/05/2012	1	1	1182	A	Non protesica
29/05/2012	1	1	1183	A	Non protesica

Figura 5.2: Programmazione ottenuta usando la seguente conversione:
 classe A=16, classe B=8, classe C=4, classe D=2.

Tali risultati portano ad affermare che, considerando i valori dei tempi di attesa dei pazienti iscritti alle liste fornite, decisamente elevati rispetto ai valori originariamente assegnati alle classi di priorità, il modello considera preferibile selezionare, per la programmazione degli interventi nella settimana in analisi, i pazienti con tempi di attesa più elevati, a discapito dei pazienti con classe di priorità maggiore, ma che sono iscritti in lista da minor tempo. Aumentando invece il gap tra i valori associati alle classi, è possibile indurre il modello a selezionare pazienti che, nonostante stiano aspettando in lista da un numero di giorni minore rispetto ad altri pazienti, sono clinicamente più urgenti e godono quindi di una ragionevole precedenza.

Come già detto nel Capitolo 4, il reparto di Ortopedia del Policlinico di Modena prevede, in ciascun periodo (sessione mattutina o pomeridiana), lo svolgimento, in una certa sala operatoria, di interventi appartenenti ad un'unica classe. Considerando la classificazione dei soli interventi programmabili,

è possibile eseguire in ciascuna slot temporale solo interventi protesici o, alternativamente, operazioni non protesiche.

Solo testando il modello con le istanze reali fornite dal Policlinico, ci si è accorti che la soluzione ottimale, secondo il risolutore, restituiva una programmazione composta da soli interventi non protesici. Questo è dovuto alla bassa percentuale, nelle liste fornite, di pazienti che devono sottoporsi ad interventi di innesti o revisioni di protesi, rispetto alle più frequenti operazioni non protesiche. I pazienti in minoranza che devono affrontare interventi protesici, hanno inoltre un grado di precedenza inferiore rispetto ai pazienti non protesici selezionati per la programmazione, avendo un minor valore del prodotto tra il tempo di attesa Δ_i e la classe di priorità ρ_i .

Tuttavia è possibile che i responsabili della pianificazione degli interventi del dipartimento ritengano opportuno garantire un numero minimo settimanale di slot temporali dedicate allo svolgimento di interventi protesici. A tale scopo il modello è stato modificato in fase implementativa mediante l'inserimento del vincolo 5.2 che garantisce l'assegnamento di un numero minimo, $L_{Protesici}$, di slot temporali destinate allo svolgimento di interventi protesici.

$$\sum_{w=1}^m \sum_{k=1}^c \sum_{t=b-4}^b \sum_{p=1}^P g_{wktp1} \geq L_{Protesici} \quad (5.2)$$

Dove il valore numerico associato al parametro $L_{Protesici}$ nell'implementazione del modello è pari a 4.

Analizzando diverse programmazioni restituite dall'implementazione con differenti valori dei vari parametri, ci si è accorti di un bug nel modello. E' possibile notare che nella programmazione riprodotta in Figura 5.3 sono presenti solo 3 slot temporali associate ad interventi protesici e non 4 come si desidererebbe.

Info Programmazione						
Data	id_Periodo	id_Sala_Operatoria	Idpaziente	Classe priorità	Nome intervento	Classe
28/05/2012	1	2	557	A	Non protesica	Non Protesica
28/05/2012	1	2	558	A	Non protesica	Non Protesica
28/05/2012	2	1	1202	B	Non protesica	Non Protesica
28/05/2012	2	1	1218	D	Non protesica	Non Protesica
28/05/2012	2	2	1232	B	Non protesica	Non Protesica
28/05/2012	2	2	1279	D	Non protesica	Non Protesica
29/05/2012	1	1	1182	A	Non protesica	Non Protesica
29/05/2012	1	1	1183	A	Non protesica	Non Protesica
29/05/2012	1	2	1	A	Non protesica	Non Protesica
29/05/2012	1	2	2	A	Non protesica	Non Protesica
29/05/2012	2	2	559	A	Non protesica	Non Protesica
29/05/2012	2	2	562	A	Non protesica	Non Protesica
30/05/2012	1	2	563	A	Ginocchio	Protesica
30/05/2012	1	2	566	A	Anca	Protesica
30/05/2012	2	1	175	B	Non protesica	Non Protesica
30/05/2012	2	1	176	B	Non protesica	Non Protesica
30/05/2012	2	2	4	A	Non protesica	Non Protesica
30/05/2012	2	2	5	A	Non protesica	Non Protesica
31/05/2012	1	1	165	A	Non protesica	Non Protesica
31/05/2012	1	1	181	B	Non protesica	Non Protesica
31/05/2012	1	2	687	D	Non protesica	Non Protesica
31/05/2012	1	2	688	D	Non protesica	Non Protesica
31/05/2012	2	1	693	A	Non protesica	Non Protesica
31/05/2012	2	1	708	B	Non protesica	Non Protesica
31/05/2012	2	2	177	B	Non protesica	Non Protesica
31/05/2012	2	2	178	B	Non protesica	Non Protesica
01/06/2012	1	1	1313	B	Ginocchio	Protesica
01/06/2012	1	1	1340	D	Anca	Protesica
01/06/2012	1	2	179	B	Spalla	Protesica
01/06/2012	1	2	187	B	Spalla	Protesica

Figura 5.3: Programmazione degli interventi restituita dal risolutore.

D'altra parte, studiando l'assegnamento delle slot temporali ai chirurghi del dipartimento, restituito dal risolutore e riportato in Figura 5.4, ci si accorge che il modello non opera rilassamenti sul vincolo 5.2, ma bensì assegna correttamente 4 slot temporali ai diversi chirurghi dedicate allo svolgimento di interventi protesici.

Il bug trovato nel modello consiste nella mancanza di un controllo sulla presenza o meno di pazienti che devono sottoporsi a interventi protesici. Quel che accade nella pianificazione considerata è che il risolutore assegna correttamente 4 slot temporali ai chirurghi del reparto dedicate ad interventi di classe protesica come si può vedere in Figura 5.4, inconsapevole del fatto che la lista del medico 13 non contiene alcun paziente che deve affrontare un'operazione protesica. La slot assegnata al chirurgo 13, quindi, non viene

associata ad alcun paziente nella programmazione riportata in Figura 5.3, dato che dev'essere riservata ad interventi protesici.

Info Assegnamento				
Data	Periodo	Classe	Nome sala	Nome lista/medico
28/05/2012	08:00-14:00	Non Protesica	2	4
28/05/2012	14:00-20:00	Non Protesica	1	10
28/05/2012	14:00-20:00	Non Protesica	2	6
29/05/2012	08:00-14:00	Non Protesica	1	11
29/05/2012	08:00-14:00	Non Protesica	2	3
29/05/2012	14:00-20:00	Non Protesica	2	4
30/05/2012	08:00-14:00	Protesica	2	4
30/05/2012	14:00-20:00	Non Protesica	1	1
30/05/2012	14:00-20:00	Non Protesica	2	3
31/05/2012	08:00-14:00	Non Protesica	1	1
31/05/2012	08:00-14:00	Non Protesica	2	13
31/05/2012	14:00-20:00	Non Protesica	1	2
01/06/2012	08:00-14:00	Protesica	1	9
01/06/2012	08:00-14:00	Protesica	2	1
01/06/2012	14:00-20:00	Protesica	2	13

Figura 5.4: Assegnamento delle slot temporali ai vari chirurghi restituito dal risolutore.

Il problema è stato risolto grazie all'inserimento nel modello di un ulteriore vincolo (5.3) che impedisce appunto l'allocazione di slot temporali dedicate alla chirurgia protesica a medici che hanno in lista solo interventi non protesici.

$$\sum_{k=1}^c \sum_{t=b-4}^b \sum_{p=1}^P g_{wktpl} S_k \leq \text{protesici}_w \quad (5.3)$$

$$\forall w = 1, \dots, c$$

Dove protesici_w è la cardinalità dell'insieme dei pazienti di chirurgia protesica iscritti alla lista del chirurgo w .

Secondo i vincoli 4.13 del modello è possibile eseguire, in ciascun periodo, dedicato alla protesica al più S_k interventi nella sala operatoria k . Il comportamento abituale del dipartimento di Ortopedia del Policlinico modenese è quello di eseguire due interventi in ciascuna slot temporale, pur lasciando la

possibilità di pianificare in overtime, quando lo si ritiene opportuno, al più un'operazione aggiuntiva di classe non protesica (vincoli 4.14).

Come si evince dalla programmazione riprodotta in Figura 5.5 il risolutore pianifica correttamente esattamente 2 interventi protesici per slot, mentre per le operazioni non protesiche viene sempre pianificata, oltre ai due interventi eseguibili nell'orario regolare di apertura delle sale operatorie, anche la terza operazione che ricadrà quindi in orario straordinario.

Info Programmazione					
Data	id_Periodo	id_Sala	Idpaziente	Classe priorità	Classe
31/05/2012	1	1	563	A	Protesica
31/05/2012	1	1	566	A	Protesica
31/05/2012	1	2	179	B	Protesica
31/05/2012	1	2	187	B	Protesica
31/05/2012	2	1	177	B	Non Protesica
31/05/2012	2	1	178	B	Non Protesica
31/05/2012	2	1	181	B	Non Protesica
31/05/2012	2	2	682	C	Non Protesica
31/05/2012	2	2	687	D	Non Protesica
31/05/2012	2	2	688	D	Non Protesica
01/06/2012	1	1	166	A	Protesica
01/06/2012	1	1	189	B	Protesica
01/06/2012	1	2	1313	B	Protesica
01/06/2012	1	2	1340	D	Protesica
01/06/2012	2	2	683	C	Non Protesica
01/06/2012	2	2	689	D	Non Protesica
01/06/2012	2	2	690	D	Non Protesica

Figura 5.5: Programmazione degli interventi restituita dal risolutore.

Volendo distinguere gli obiettivi primari (legati al servizio fornito ai pazienti) da quelli secondari (relativi all'organizzazione interna della struttura), sono stati assegnati dei valori molto maggiori ai primi rispetto ai secondi (si ha una differenza di 5 ordini di grandezza). Nonostante la scelta di pianificare interventi in overtime venga pesata negativamente in funzione obiettivo, il dislivello tra il peso relativo all'efficienza del servizio fornito ai pazienti e il prodotto tra il peso e il costo associato alla pianificazione di interventi in overtime è tale da spingere il risolutore a considerare preferibile la programmazione di 3 interventi non protesici, pur di eseguire il prima possibile le

operazioni in lista. Il risolutore, quindi, sceglie di pianificare tutti gli interventi che gli sono concessi, aumentando il numero di pazienti operati nella settimana in analisi e riducendo il peso, maggiore di 6 ordini di grandezza rispetto alle penalità che subisce, relativo al mancato intervento dei pazienti più prioritari nella settimana in questione.

Le operazioni di chirurgia elettiva vengono suddivise in tre tipologie di intervento: innesto/manutenzione protesi al ginocchio, alla spalla o all'anca.

Secondo le abitudini del dipartimento in analisi, è opportuno che, in ciascuna slot temporale, vengano effettuati interventi di un'unica tipologia. Non viene però esclusa la possibilità di pianificare tipologie di intervento differenti, anche se tale scelta viene pesata negativamente in funzione obiettivo.

Analogamente a quanto avviene per la pianificazione di interventi in overtime, il dislivello tra il peso relativo all'efficienza del servizio fornito ai pazienti e il prodotto tra il peso e il costo associato alla pianificazione di più tipologie di intervento in un'unica slot temporale è tale da spingere il risolutore a considerare preferibile la penalizzazione in funzione obiettivo della scelta di selezionare due interventi di tipo diverso nello stesso periodo, piuttosto che pianificare l'intervento di pazienti meno prioritari.

Un esempio di quanto appena descritto è la programmazione restituita dal risolutore mostrata in Figura 5.6.

Data	id_Periodo	id_Sala	Idpaziente	Nome intervento	Classe	Nome lista/medico
30/05/2012	1	2	1349	Anca	Protesica	8
30/05/2012	1	2	1348	Ginocchio	Protesica	8
31/05/2012	1	2	563	Ginocchio	Protesica	4
31/05/2012	1	2	578	Anca	Protesica	4

Figura 5.6: Programmazione degli interventi restituita dal risolutore.

In tale programmazione si visualizza la pianificazione di due interventi protesici di tipo diverso (anca e ginocchio), nella medesima slot temporale, sia nel terzo giorno (nella settimana in questione si tratta del 30/05/2012) che

nel quarto (31/05/2012). I pazienti selezionati risultano essere i più prioritari rispetto a tutti gli altri pazienti protesici dei due chirurghi che devono eseguire le operazioni in questione. Ciò che succede è che, dati i pesi molto diversi degli obiettivi primari rispetto a quelli secondari, il risolutore preferisce incorrere in penalità per due volte pur di pianificare gli interventi più prioritari.

Per quanto riguarda la programmazione delle attività preoperatorie, non è stato possibile usare dati realistici poiché al Policlinico, ad oggi, non viene considerata la pianificazione per slot temporali dedicate di visite anestesio-logiche e prelievi ematici.

Dal confronto con i chirurghi afferenti al dipartimento di Ortopedia si è evinto che i pazienti solitamente bisognosi di sottoporsi ad una visita anestesio-logica di maggior approfondimento rispetto a quelle abituali, sono i pazienti che devono affrontare interventi di innesto, revisione o manutenzione di protesi. Per questo nell'implementazione del modello sono stati catalogati come critici tutti i pazienti di classe protesica. E' stato inoltre fissato il numero di giorni di anticipo, dalla data dell'intervento, con cui dev'essere programmata la visita anestesio-logica a 5 per tutti i pazienti critici.

I pazienti di chirurgia protesica sono inoltre i soggetti con maggior probabilità di subire trasfusioni durante l'operazione. Secondo le linee guida però, non è opportuno sottoporre ai due prelievi del sangue, considerati in fase preoperatoria per i pazienti a rischio di trasfusioni, le persone con età superiore o pari a 55 anni. I pazienti da classificare come idonei per i prelievi ematici sono, dunque, quelli che devono sottoporsi ad interventi protesici e con età non inferiore a 55 anni.

A causa di inconsistenze dei Database utilizzati dal Policlinico, le informazioni relative all'età dei pazienti non sono memorizzate e non sono reperibili in maniera rapida per essere restituiti da una Query del Database usato per l'implementazione. In ogni caso, la raccolta di tali informazioni è stata avviata: al momento è stato possibile reperire le informazioni relative ai pazienti iscritti alla lista d'attesa di un solo medico e, nell'attesa che pervengano tutti

i dati utili, si è considerato come idonei allo svolgimento di prelievi ematici tutti i pazienti, dei chirurghi restanti, che devono sottoporsi ad interventi protesici, in modo da considerare lo scenario peggiore tra quelli che possono verificarsi.

Partendo da una prima programmazione, in un contesto reale, si procederebbe contattando telefonicamente ciascuna persona selezionata, per chiedere conferma al paziente della sua disponibilità nei giorni programmati per l'operazione chirurgica e per gli eventuali prelievi ematici e visite anestesio-logiche. Ipotizzando tale situazione, potremmo avere, in una prima fase, la conferma da parte dei primi due pazienti selezionati nella programmazione riprodotta in Figura 5.7, ma la mancata disponibilità del terzo paziente ad essere operato nel giorno programmato.

Data	id_Periodo	id_Sala_Operatoria	Idpaziente	Nome lista/medico
26	2	2	557	4
26	2	2	558	4
26	1	2	1202	10
26	1	2	1218	10
26	2	1	1232	6
26	2	1	1279	6
27	1	2	1	3
27	1	2	2	3
27	2	2	559	4
27	2	2	562	4
27	1	1	1182	11
27	1	1	1183	11

Figura 5.7: Programmazione degli interventi restituita dal risolutore.

Ripianificando con i valori aggiornati dei parametri che gestiscono la disponibilità e la conferma di un paziente a sottoporsi alle varie procedure in un certo giorno dell'orizzonte temporale, secondo la tabella del Database riportata in Figura 5.8, si ottiene una programmazione che vede l'intervento dei primi due pazienti pianificato nel giorno confermato (il 26-esimo), mentre, come si può vedere in Figura 5.9, l'intervento del paziente 1202 viene scam-

biato con quello di uno dei pazienti selezionati per la giornata successiva.

Paziente	Giorno	Disp_Anest	Disp_prel	Scelto_Anest	Scelto_Prel1	Scelto_Prel2	Disp_Inter	Conf_Inter
557	26	1	1	0	0	0	1	1
557	27	1	1	0	0	0	1	0
557	28	1	1	0	0	0	1	0
557	29	1	1	0	0	0	1	0
557	30	1	1	0	0	0	1	0
558	26	1	1	0	0	0	1	1
558	27	1	1	0	0	0	1	0
558	28	1	1	0	0	0	1	0
558	29	1	1	0	0	0	1	0
1202	26	1	1	0	0	0	0	0
1202	27	1	1	0	0	0	1	0
1202	28	1	1	0	0	0	1	0
1202	29	1	1	0	0	0	1	0
1202	30	1	1	0	0	0	1	0

Figura 5.8: Valori assunti dai parametri $dispA_{it}$, $dispP_{it}$, $confA_{it}$, $confP1_{it}$, $confP2_{it}$, $dispI_{it}$, $confI_{it}$ per i pazienti 557, 558 e 1202 nella settimana in analisi.

Data	id_Periodo	id_Sala_Operatoria	Idpaziente	Nome lista/medico
26	1	2	557	4
26	2	2	558	4
26	1	2	559	4
26	2	2	562	4
26	2	1	1232	6
26	2	1	1279	6
27	1	2	1	3
27	1	2	2	3
27	2	2	1182	11
27	2	2	1183	11
27	1	1	1202	10
27	1	1	1218	10

Figura 5.9: Programmazione degli interventi restituita dal risolutore in seguito alla modifica dei parametri che gestiscono le disponibilità e le conferme.

Ovviamente lo switch effettuato non riguarda solo il paziente 1202, che ha dichiarato la sua indisponibilità ad essere operato il primo giorno della settimana di pianificazione degli interventi, ma anche il paziente 1218, inse-

rito nella stessa slot temporale nella precedente programmazione in Figura 5.7. Questo perché non è possibile allocare la stessa slot temporale a due medici chirurghi differenti e dunque il risolutore, spostando il paziente 1202 in una slot del giorno successivo, è costretto a spostare nella stessa slot anche l'altro paziente selezionato appartenente alla lista del chirurgo 10.

Analogamente nel caso in cui dei pazienti si dichiarino non disponibili nei giorni programmati per le visite anestesiolgiche e per i prelievi ematici, questi verranno modificati nella pianificazione successiva.

Info Programmazione									
Data	Periodo	Sala	Idpaziente	Nome intervento	Classe	Anestesia	Primo_Predep	Secondo_Predep	
31/05/2012	1	1	563	Ginocchio	Protesica	30/04/2012	23/04/2012	23/05/2012	
31/05/2012	1	2	187	Spalla	Protesica	27/04/2012	23/04/2012	15/05/2012	
31/05/2012	1	1	566	Anca	Protesica	24/04/2012	25/04/2012	22/05/2012	
31/05/2012	1	2	179	Spalla	Protesica	25/04/2012	23/04/2012	22/05/2012	
31/05/2012	2	1	178	Non protesica	Non Protesica				
31/05/2012	2	1	177	Non protesica	Non Protesica				
31/05/2012	2	1	181	Non protesica	Non Protesica				
31/05/2012	2	2	682	Non protesica	Non Protesica				
31/05/2012	2	2	688	Non protesica	Non Protesica				
31/05/2012	2	2	687	Non protesica	Non Protesica				
01/06/2012	1	1	166	Spalla	Protesica	23/04/2012	23/04/2012	14/05/2012	
01/06/2012	1	2	1340	Anca	Protesica	30/04/2012	23/04/2012	24/05/2012	
01/06/2012	1	2	1313	Ginocchio	Protesica	03/05/2012	23/04/2012	21/05/2012	
01/06/2012	1	1	189	Spalla	Protesica	04/05/2012	30/04/2012	17/05/2012	
01/06/2012	2	2	683	Non protesica	Non Protesica				
01/06/2012	2	2	690	Non protesica	Non Protesica				
01/06/2012	2	2	689	Non protesica	Non Protesica				

Figura 5.10: Programmazione degli interventi, delle visite anestesiolgiche e dei prelievi ematici restituito dal risolutore.

A partire dalla programmazione in Figura 5.10 se, per esempio, il paziente 563 si dichiara non disponibile il giorno 30/04/2012, in cui è stata pianificata per lui una visita anestesiolgica, e analogamente il paziente 166 non è disponibile nei giorni 23/04/2012 e 14/05/2012 per sottoporsi ai prelievi ematici, aggiornando i parametri di conferma e disponibilità, nella programmazione successiva, verranno selezionati giorni differenti per le attività preoperatorie dei due pazienti (vedi Figura 5.11).

Info Programmazione									
Data	Periodo	Sala	Idpaziente	Nome intervento	Classe	Anestesia	Primo_Predeop	Secondo_Predeop	
31/05/2012	1	1	187	Spalla	Protesica	27/04/2012	23/04/2012	15/05/2012	
31/05/2012	1	2	563	Ginocchio	Protesica	24/04/2012	23/04/2012	23/05/2012	
31/05/2012	1	2	566	Anca	Protesica	24/04/2012	25/04/2012	22/05/2012	
31/05/2012	1	1	179	Spalla	Protesica	25/04/2012	23/04/2012	22/05/2012	
31/05/2012	2	1	178	Non protesica	Non Protesica				
31/05/2012	2	1	177	Non protesica	Non Protesica				
31/05/2012	2	1	181	Non protesica	Non Protesica				
31/05/2012	2	2	682	Non protesica	Non Protesica				
31/05/2012	2	2	688	Non protesica	Non Protesica				
31/05/2012	2	2	687	Non protesica	Non Protesica				
01/06/2012	1	1	166	Spalla	Protesica	23/04/2012	03/05/2012	17/05/2012	
01/06/2012	1	2	1340	Anca	Protesica	30/04/2012	23/04/2012	24/05/2012	
01/06/2012	1	2	1313	Ginocchio	Protesica	03/05/2012	23/04/2012	21/05/2012	
01/06/2012	1	1	189	Spalla	Protesica	04/05/2012	30/04/2012	17/05/2012	
01/06/2012	2	2	683	Non protesica	Non Protesica				
01/06/2012	2	2	691	Non protesica	Non Protesica				
01/06/2012	2	2	690	Non protesica	Non Protesica				

Figura 5.11: Programmazione degli interventi, delle visite anestesologiche e dei prelievi ematici, restituita dal risolutore in seguito alla modifica dei parametri che gestiscono le disponibilità e le conferme.

Via via che si impongono restrizioni alla libertà del risolutore di cercare la soluzione ottimale, si arriverà ad avere sempre minor possibilità di scelta. Per esempio, supponendo di aver confermato il giorno dell'intervento di tutti i pazienti selezionati meno uno, per esempio il paziente 689 della programmazione in Figura 5.10 e supponendo che, contattandolo telefonicamente, dichiararsi la sua indisponibilità ad essere operato nel giorno programmato (01/06/2012), il risolutore, nella programmazione successiva, non avrà altra possibilità che sostituire il paziente con il miglior candidato tra le persone ancora in lista, non potendo pianificare l'operazione in nessun'altra slot temporale poiché occupate dai pazienti che hanno precedentemente confermato il loro intervento.

Circostanze analoghe potrebbero anche portare a situazioni di infeasibility. Un esempio è dato dalla conferma delle date programmate per le varie procedure da parte di tutti i pazienti protesici meno uno che conferma la data del secondo prelievo ematico, ma non del primo. Il risolutore fisserà il secondo prelievo ematico nella giornata confermata, ma nel caso limite in cui tutte le slot temporali, rese disponibili nelle varie giornate dell'orizzonte temporale per lo svolgimento di prelievi ematici, siano già occupate, non sarà abilitato

a pianificare il primo predeposito. Secondo le istruzioni date nel modello, il secondo prelievo può essere pianificato solo se anche il primo predeposito è stato programmato e dunque la situazione trovata risulta essere inammissibile. Incorrere in situazioni di infeasibility è del tutto inevitabile quando non vengono lasciati margini di movimento sufficienti alla libertà del risolutore.

Come spiegato precedentemente, il Database utilizzato nell'implementazione del modello è stato costruito in modo tale da permettere la programmazione di più settimane successive. I risultati ottenuti dalla pianificazione di un mese sono stati analizzati e sfruttati per avviare un'analisi di scenario volta a determinare il dimensionamento ottimale delle visite anestesologiche e dei prelievi ematici che potrebbero essere resi disponibili dal presidio ospedaliero.

Volendo sviluppare un approccio per slot dedicate, è stata ipotizzata, la possibilità di rendere disponibili anestesisti ed infermieri per un numero fissato rispettivamente di visite e prelievi, in un giorno a scelta di ciascuna settimana. Si è quindi sviluppato un approccio multiscenario per comprendere il corretto dimensionamento delle slot. Un'ipotesi potrebbe essere rendere disponibili degli anestesisti per effettuare fino a 4 visite ogni mercoledì e degli infermieri per lo svolgimento di al più 8 prelievi ogni lunedì. Mediante la pianificazione di più settimane successive è possibile avere indicazioni sull'utilizzo delle visite e dei prelievi resi disponibili, considerando dati sempre aggiornati del numero di attività preoperatorie occupate da pazienti operati nelle settimane precedenti.

La pianificazione fatta su quattro settimane successive ha mostrato che, mentre per i pazienti, che devono sottoporsi ad interventi protesici, selezionati nelle prime due settimane, sono state pianificate sia le visite anestesologiche che i due predepositi, al momento della pianificazione della terza settimana il livello di occupazione dei prelievi resi disponibili era tale da non permettere la programmazione del primo prelievo di uno dei pazienti selezionati in quest'ultima pianificazione. Non potendo fissare un primo predeposito, non

è stato possibile programmare nemmeno il secondo prelievo a cui avrebbe dovuto sottoporsi il paziente.

Nella settimana successiva il livello di occupazione dei prelievi resi disponibili risulta, ovviamente, incrementato dalla programmazione della settimana precedente. Il risultato è che per 7 dei pazienti protesici selezionati nella pianificazione della quarta settimana non è stato possibile programmare il primo, e dunque nemmeno il secondo, predeposito. Giunti alla pianificazione della quarta settimana, anche il numero di visite anestesiolgiche rese disponibile si è rivelato insufficiente, lasciando 4 pazienti di chirurgia protesica esclusi dalla programmazione delle visite anestesiolgiche.

L'insufficienza della dimensione ipotizzata, per le visite e i prelievi che possono essere resi disponibili, è evidenziata anche dai valori assunti dalla funzione obiettivo riportata qui di seguito, in particolare dalle componenti 1 e 3 che indicano per quanti pazienti non è stato possibile pianificare rispettivamente una visita o un prelievo.

$$\begin{aligned}
MinZ = & \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c \sum_{t=b-4}^b \sum_{p=1}^P x_{ikt p} (t - 26) \Delta_i \rho_i \pi_i + \sum_{i=1}^n z_i (5 \Delta_i) \rho_i \pi_i \right) P_{WT} + \\
& + \sum_{k=1}^c \sum_{t=b-4}^b \sum_{p=1}^P P_{OT} f_{ktp} Cover + \sum_{k=1}^c \sum_{t=b-4}^b P_{SP} \eta_{kt} C_{sur} + \\
& + \underbrace{P_V \left(\sum_{i=1}^n \epsilon_i \right) C}_{\text{Componente 1}} + \underbrace{P_{AV} \sum_{t=1}^b \psi_t}_{\text{Componente 2}} + \underbrace{P_{BS} \sum_{i=1}^n \zeta_i}_{\text{Componente 3}} + \underbrace{P_B \sum_{t=1}^{b-5} \Phi_t}_{\text{Componente 4}}
\end{aligned}$$

I valori assunti dalle componenti 1 e 3, come si può notare in Tabella 5.5, sono pari a 0 nelle prime due settimane pianificate e > 0 nelle successive. Questo significa che nelle prime due settimane non sono state registrate visite o prelievi mancati, mentre nelle ultime due settimane sono stati selezionati pazienti per i quali non è stato possibile pianificare le attività preoperatorie.

Prima settimana pianificata
<i>Componente 1</i> = 0
<i>Componente 2</i> = 1.6
<i>Componente 3</i> = 0
<i>Componente 4</i> = 2.4
Seconda settimana pianificata
<i>Componente 1</i> = 0
<i>Componente 2</i> = 0.8
<i>Componente 3</i> = 0
<i>Componente 4</i> = 1.4
Terza settimana pianificata
<i>Componente 1</i> = 0
<i>Componente 2</i> = 0.4
<i>Componente 3</i> = 0.1
<i>Componente 4</i> = 0.7
Quarta settimana pianificata
<i>Componente 1</i> = 0.04
<i>Componente 2</i> = 0.4
<i>Componente 3</i> = 0.7
<i>Componente 4</i> = 1.3

Tabella 5.5: Valori assunti dalle componenti della funzione obiettivo ipotizzando di rendere disponibili 4 visite ogni mercoledì e 8 prelievi ogni lunedì.

In base ai risultati ottenuti con la prima ipotesi di dimensionamento, ci si è resi conto che non è sufficiente a coprire le richieste e la capacità dev'essere dunque aumentata. Dovendo sottoporre i pazienti alla visita anestesiologicala al massimo 6 giorni prima dell'intervento, l'intervallo di tempo in cui possono essere pianificate le visite andrà dal giorno 1 fino più al giorno 24. In tale intervallo sono distribuite visite anestesiologicalhe su 5 settimane, ma essendo 4 le mancate visite nella pianificazione precedente, sarà sufficiente rendere

disponibile un'ulteriore visita a settimana per soddisfare le richieste dei pazienti.

La saturazione della risorsa, per quanto riguarda i predepositi, si è verificata sul primo prelievo a cui devono essere sottoposti i pazienti. L'intervallo di tempo disponibile per la pianificazione di questi ultimi può estendersi dal giorno 1 fino al più al giorno 9. In tale intervallo i prelievi disponibili si distribuiscono su 2 settimane ed essendo 8 i mancati prelievi nella pianificazione precedente si è considerato l'incremento di 4 prelievi ogni settimana.

Eseguita nuovamente la pianificazione delle quattro settimane successive, questa volta allocando 5 visite anestesiolgiche ogni mercoledì e 12 prelievi ematici ogni lunedì, si è ottenuta una programmazione che vede la soddisfazione di tutte le richieste di visite e prelievi dei pazienti selezionati. Il controllo può essere fatto anche sul valore assunto dalle componenti 1 e 3 della funzione obiettivo che, in quest'ultima pianificazione, sono effettivamente pari a 0.

Infine, come già detto, il modello proposto propone un'allocazione delle slot temporali, alle varie squadre chirurgiche, compatibile alle eventuali richieste da parte di certi chirurghi di essere affiancati da un collega del medesimo reparto per lo svolgimento di una particolare tipologia di interventi. Le relazioni $\langle w_1, w_2, r_d \rangle$, inserite in fase implementativa, rappresentano la richiesta da parte del chirurgo, identificato con in numero 3, di essere affiancato durante lo svolgimento di un intervento di tipo 3 dal chirurgo 15, specialista in operazioni di protesi all'anca. Durante lo svolgimento di interventi di tipo 2, il chirurgo 3, richiede invece la collaborazione del chirurgo 14, specialista in interventi di protesi al ginocchio.

Per riassumere, le istanze utilizzate per alimentare i parametri del modello implementato sono:

$$\begin{aligned}
|I| &= 1014; \\
K &= \{1, 2\}; \\
T &= \{1, \dots, 30\}; \\
P &= \{\text{Sessione mattutina, Sessione pomeridiana}\}; \\
\rho_i &: \rho_i \in \{1, 2, 3, 4\} \quad \text{oppure} \quad \rho_i \in \{2, 4, 8, 16\} \quad \forall i \in I; \\
P_{WT} &= 10^4; \\
P_{OT} &= 10^{-1}; \\
F_k &= 1 \quad \forall k \in K; \\
C_{over} &= 10^{-1}; \\
M &= 1; \\
P_{SP} &= 10^{-1}; \\
C_{sur} &= 10^{-1}; \\
P_V &= 10^{-1}; \\
C &= 10^{-1}; \\
P_{AV} &= 10^{-1}; \\
C_t &= 4 \vee 5 \quad \text{un giorno a settimana a scelta,} \quad C_t = 0 \text{ nelle altre} \\
&\quad \text{giornate;} \\
P_{BS} &= 10^{-1}; \\
P_B &= 10^{-1}; \\
Prel_t &= 8 \vee 12 \quad \text{un giorno a settimana a scelta,} \quad Prel_t = 0 \text{ nelle altre} \\
&\quad \text{giornate;} \\
W &= \{1, \dots, 15\}; \\
R &= \{\text{Intervento non protesico, Intervento di protesi di ginocchio,} \\
&\quad \text{Intervento di protesi d'anca, Intervento di protesi spalla}\}; \\
N &= 3; \\
Q &= \{\text{Protesici, Non protesici}\};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Classe_1 &= \{ \text{Intervento di protesi di ginocchio, Intervento di protesi} \\
&\quad \text{d'anca, Intervento di protesi spalla} \}; \\
Classe_2 &= \{ \text{Intervento non protesico} \}; \\
S_k &= 2 \quad \forall k \in K;
\end{aligned}$$

$$trauma_{ktp} = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ per le seguenti combinazioni } (t, p, k), \text{ dove} \\ t = 26, \dots, 30; \\ \begin{array}{|c|c|c|} \hline \mathbf{t} & \mathbf{p} & \mathbf{k} \\ \hline 26 & \text{sessione mattutina} & 1 \\ \hline 27 & \text{sessione pomeridiana} & 1 \\ \hline 28 & \text{sessione mattutina} & 1 \\ \hline 30 & \text{sessione pomeridiana} & 1 \\ \hline \end{array} \\ 0 \text{ altrimenti;} \end{array} \right.$$

$$\mu_i = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ per tutti i pazienti che devono sottoporsi ad un} \\ \text{intervento protesico} \\ 0 \text{ altrimenti;} \end{array} \right.$$

$$\nu_i = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ per i pazienti di chirurgia protesica iscritti alle liste d'at-} \\ \text{tesa dei chirurghi appartenenti all'insieme } W \setminus \{3\} \text{ e per} \\ \text{tutti i pazienti iscritti alla lista d'attesa del chirurgo 3,} \\ \text{che devono sottoporsi ad un intervento protesico e con} \\ \text{età non inferiore a 55 anni} \\ 0 \text{ altrimenti;} \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned}
h_i &= 5 \quad \forall i \in I; \\
D &= \{ \langle 3, 14, 2 \rangle, \langle 3, 15, 3 \rangle \}; \\
E_w &= 1 \quad \forall w \in W;
\end{aligned}$$

L_w e U_w sono riportati in Tabella 5.6

$w \in W$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
L_w	4	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	2	0	0
U_w	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Tabella 5.6

Conclusioni e sviluppi futuri

Il lavoro svolto per questa tesi ha portato alla creazione e sviluppo di due modelli di programmazione lineare intera, volti all'ottimizzazione della gestione delle sale operatorie di un presidio ospedaliero.

I problemi trattati nel primo modello riguardano l'assegnamento settimanale di slot temporali alle varie unità chirurgiche di un presidio ospedaliero e la pianificazione di interventi e attività preoperatorie nell'arco di un orizzonte temporale fissato.

Il secondo modello, invece, implementato con istanze realistiche, si occupa del problema di pianificare le operazioni chirurgiche e le attività preoperatorie dei pazienti, di una specifica unità operativa, nelle slot temporali destinate settimanalmente allo svolgimento di interventi programmabili della specialità chirurgica in questione.

Insieme all'analisi dei risultati ottenuti dall'implementazione del modello con le istanze realistiche, fornite dal reparto di Ortopedia del Policlinico di Modena, si è mostrato inoltre come quest'ultimo modello di ottimizzazione proposto può essere utilizzato per avviare degli studi di simulazione volti a migliorare l'efficienza della struttura ospedaliera considerata. Nel modello viene proposta la pianificazione di attività preoperatorie, quali visite anestesologiche e predepositi ematici, che permettono l'ottimizzazione dell'uso di risorse costose o scarse come i letti per il ricovero e le sacche ematiche della banca del sangue attiva presso il Policlinico. Poiché il dipartimento in questione non considera la pianificazione per slot temporali dedicate di tali attività preoperatorie, si è usata l'implementazione del modello per la programmazione di

più settimane successive con lo scopo di effettuare un'analisi di scenario volta all'identificazione del numero minimo di visite e prelievi che possono essere resi disponibili settimanalmente per soddisfare tutte le richieste dei pazienti selezionati nelle varie programmazioni.

Il lavoro iniziato e presentato con questa tesi è attualmente in via di sviluppo. E' possibile infatti avviare ulteriori studi per sfruttare appieno il modello costruito, non solo nella resa di pianificazioni efficienti, ma anche nelle analisi simulative volte all'individualizzazione delle capacità ottimali di ciascuna risorsa coinvolta nelle pratiche chirurgiche o dei miglioramenti ottenibili apportando qualche riforma nelle abitudini processuali della struttura ospedaliera in questione.

Come già spiegato, a causa di inconsistenze dei Database utilizzati dal Policlinico, le informazioni relative all'età dei pazienti non sono memorizzate e reperibili in maniera rapida. Le informazioni relative all'età, raccolte al momento, interessano solo parte delle persone iscritte alle liste d'attesa dei vari chirurghi, per le restanti si è considerato, nell'implementazione del modello, che tutti i pazienti di chirurgia protesica, ovvero i casi con la maggior probabilità di incorrere in trasfusioni durante l'operazione, sono in grado di sopportare due prelievi ematici preoperatori.

L'elevata probabilità di avere in lista d'attesa un maggior numero di pazienti che devono affrontare interventi di innesto o revisione di protesi con età maggiore o pari a 55 anni, rispetto a quelli con età inferiore, fa sì che il numero di persone idonee ai predepositi, considerato nell'analisi di scenario svolta, sia sovrastimato rispetto al numero effettivo.

Un primo sviluppo del lavoro svolto potrebbe essere dunque quello di raccogliere le informazioni relative alle classi di età di tutti i pazienti iscritti alle varie liste d'attesa, per poter ottenere un'analisi di scenario più verosimile riguardo al dimensionamento ottimale delle attività preoperatorie da rendere disponibili settimanalmente. La capacità ipotizzata, infatti, è sicuramente sovradimensionata se si considera il fatto che, per il riconoscimento delle

persone idonee ai prelievi ematici, è stato possibile filtrare, in base all'età, solo parte dei pazienti di chirurgia protesica e, dunque, il dimensionamento usato può essere considerato come indicatore, come upper bound, dato che non tutti i pazienti considerati possono, di fatto, sottoporsi a prelievi ematici.

L'approccio di analisi di scenario utilizzato per valutare il dimensionamento delle attività preoperatorie da rendere disponibili, può essere riproposto per affrontare ulteriori simulazioni, volte, per esempio, a determinare la capacità ottimale di altre risorse, così da migliorare l'efficienza del presidio ospedaliero. Mediante simulazione, si potrebbe per esempio analizzare l'impatto che avrebbe sui risultati l'incremento del numero di sale operatorie dedicate al reparto in questione. Le sale operatorie, infatti, costituiscono sicuramente una risorsa vincolante per i risultati della pianificazione, dato il ridotto numero dedicato al reparto considerato, ma si potrebbe applicare un'analisi di tipo simulativo per valutare la capacità ottimale anche di altri tipi di risorse, come per esempio i medici chirurghi afferenti all'unità operativa.

Dal confronto diretto degli output ottenuti dall'implementazione del modello, con le pianificazioni ad oggi svolte dai responsabili della programmazione degli interventi di chirurgia ortopedica del Policlinico di Modena, possono nascere diversi spunti per ulteriori analisi. Lungo un periodo di stretta collaborazione con il Policlinico, sarebbe interessante stimare il numero di persone iscritte settimanalmente alle liste d'attesa del reparto di Ortopedia. Confrontando il numero di pazienti in ingresso con il numero di persone operate ogni settimana, secondo le pianificazioni restituite dall'implementazione del modello, è possibile verificare la bontà della programmazione ottenuta.

Se le persone operate risultano in numero maggiore rispetto ai nuovi pazienti iscritti settimanalmente, si avrà come risultato, in un tempo più o meno lungo, un graduale smaltimento delle liste d'attesa del reparto.

In seguito al raccoglimento dei dati relativi a pianificazioni effettuate dal

reparto di Ortopedia, inoltre, si potrebbe confrontare, le programmazioni eseguite, con gli output restituiti dal risolutore. Dalla comparazione diretta dei risultati ottenuti dalle due differenti metodologie di programmazione è possibile far valutare, ai responsabili della gestione del reparto, se il metodo implementativo proposto restituisce pianificazioni migliori di quelle ottenute attualmente, basate non su un criterio ben strutturato, ma sull'esperienza dei medici programmatori. E' possibile stabilire la bontà e l'efficienza della metodologia di programmazione proposta a partire dalla definizione dei criteri e degli indicatori che si vuole considerare, come per esempio il maggior utilizzo delle risorse o la riduzione dei tempi medi di attesa dei pazienti.

Procedendo per simulazione si potrebbe inoltre arrivare a stabilire quali sono i valori opportuni da associare ai pesi e ai costi inseriti in funzione obiettivo, per ottenere programmazioni il più possibile corrispondenti alle esigenze organizzative del reparto.

Una volta trovati i valori ottimali dei pesi degli obiettivi primari e secondari, si potrebbe considerare un'ottimizzazione dell'efficienza organizzativa del reparto in questione, modificando opportunamente le abitudini gestionali e processuali del dipartimento, mediante l'individuazione di quali vincoli possono essere trasformati da "hard" a "soft constraints".

Alcune restrizioni al modello, infatti, sono state inserite per seguire le abitudini organizzative del reparto in analisi, come l'assegnamento di determinate slot temporali alla traumatologia, lo svolgimento di interventi protesici nelle sole sessioni mattutine o la pianificazione di operazioni appartenenti ad una sola classe per ogni slot temporale. Si potrebbero invece avviare, mediante approccio simulativo, svariate analisi per capire quali, tra i vincoli inseriti, possono essere resi meno stringenti. Se l'analisi dei risultati, ottenuti eliminando o rendendo meno stringenti alcuni vincoli, rileva dei miglioramenti nell'efficienza organizzativa del reparto, si potrebbe pensare di riformare le abitudini organizzative del dipartimento al fine di ottenere risultati migliori dalla pianificazione delle attività chirurgiche.

Per fare un esempio, se la pianificazione di interventi protesici nelle sole sessioni mattutine non è giustificata da particolari motivazioni organizzative o di altro genere, ma è solo un'abitudine consolidata nel tempo del reparto in analisi, si potrebbe valutare l'eventuale miglioramento dei risultati ottenuti eliminando tale vincolo o rendendolo un "soft constraint", penalizzando quindi in funzione obiettivo la pianificazione di interventi protesici nelle sessioni pomeridiane. Se dall'analisi svolta invece non si registrano miglioramenti nei risultati ottenuti, si conferma la presenza di tale restrizione come vincolo stringente, al fine di raggiungere la pianificazione ottimale.

L'efficienza delle programmazioni ottenute fino ad oggi dall'implementazione del modello (in termini di soddisfazione delle abitudini organizzative del reparto considerato e di buon funzionamento delle pianificazioni per slot dedicate delle attività preoperatorie proposte), la facilità di lettura dei risultati, di inserimento di nuovi pazienti in lista e la semplicità con cui è possibile apportare modifiche ai dati nel Database utilizzato a supporto delle pianificazioni, mostrano come il modello presentato sia uno strumento produttivo, effettivamente utilizzabile in un contesto reale.

L'uso del modello proposto nella gestione delle sale operatorie assume un duplice obiettivo: ottenere pianificazioni strutturate ed efficienti migliorando, quando possibile, le programmazioni comunemente eseguite in un presidio ospedaliero e utilizzare l'implementazione del modello, mediante l'uso ai fini simulativi dell'ottimizzazione, come strumento decisionale a livello tattico e strategico, determinando le capacità ottimali delle risorse coinvolte nelle pratiche chirurgiche e individuando le abitudini di reparto non necessarie e di ostacolo al miglioramento dell'efficienza gestionale del presidio ospedaliero.

Bibliografia

- [1] I. Adan, J. Bekkers, N. Dellaert, J. Vissers, X. Yu, Patient mix optimisation and stochastic resource requirements: A case study in cardiothoracic.. *Health Care Management Science* (2009).
- [2] I.J.B.F. Adan, J.M.H. Vissers, Patient mix optimization in hospital admission planning: a case study. *International Journal of Operations and Production Management* (2002).
- [3] A. Baumgart, A. Zoeller, C. Denz, H.J. Bender, A. Heinzl, E. Bardreddin, Using Computer Simulation in Operating Room Management: Impacts on Process Engineering and Performance. *Proceedings of the 40th Hawaii International Conference on System Sciences* (2007).
- [4] B. Cardoen, E. Demeulemeester, J.Beliën, Operating room planning and scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research* (2009).
- [5] S. Chaabane, N. Meskens, A. Guinet, M. Laurent, Comparison of two methods of operating theatre planning: application in Belgian hospital. *J Syst Sci Systems Engineering* (2008).
- [6] D. Conforti, F. Guerriero, R. Guido, M. Matucci Cerinic, M.L. Conforti, An optimal decision making model for supporting week hospital management. *Health Care Management Science* (2011).

- [7] B.T. Denton, A.J. Miller, H.J. Balasubramanian, T.R. Huschka, Optimal Allocation of Surgery Blocks to Operating Rooms Under Uncertainty. *Operation Research* (2010).
- [8] M.E. D'Alfonso, A.M. Luongo, La programmazione dell'attività operatoria, *Il management delle Sale Operatorie* (2009).
- [9] H. Fei, C. Chu, N. Meskens, A. Artiba, Solving surgical cases assignment problem by a branch-and-price approach, *International journal of production economics* (2008).
- [10] A. Guinet, S. Chaabane, Operating theatre planning. *International journal of production economics* (2003).
- [11] Linee guida nazionali di riferimento, Valutazione preoperatoria del paziente da sottoporre a chirurgia elettiva (2005).
- [12] M. Marinelli, G. Catalini, Ottimizzazione della Gestione delle Sale Operatorie in Conformità ai Requisiti Richiesti dall'Accreditamento Regione Marche, Regione Marche.
- [13] A. Riise, E. Burke, Local search for the surgery admission planning problem. *Journal of Heuristics* (2010).
- [14] P. Santibáñez, M. Begen, D. Atkins, Surgical block scheduling in a system of hospitals: an application to resource and wait list management in a British Columbia health authority. *Health Care Management Science* (2007).
- [15] Standard di Prodotto e Servizio, Servizio Sanitario Regionale Emilia Romagna, Azienda Unità Sanitaria Locale di Cesena, Anestesia Terapia Intensiva (2010).
- [16] Standard di Prodotto e Servizio, Servizio Sanitario Regionale Emilia Romagna, Azienda Unità Sanitaria Locale di Cesena, Anestesia Terapia Intensiva Postoperatoria (2007).

- [17] Standard di Prodotto/Servizio, Servizio Sanitario Regionale Emilia Romagna, Azienda Unità Sanitaria Locale di Cesena, Dipartimento Chirurgico (2010).
- [18] Standard di Prodotto/Servizio, Servizio Sanitario Regionale Emilia Romagna, Azienda Unità Sanitaria Locale di Cesena, Centro Grandi Ustionati (2005).
- [19] Standard di Prodotto/Servizio, Servizio Sanitario Regionale Emilia Romagna, Azienda Unità Sanitaria Locale di Cesena, Chirurgia Maxillo Facciale (2010).
- [20] Standard di Prodotto/Servizio, Servizio Sanitario Regionale Emilia Romagna, Azienda Unità Sanitaria Locale di Cesena, Chirurgia D'Urgenza (2008).
- [21] Standard di Prodotto/Servizio, Servizio Sanitario Regionale Emilia Romagna, Azienda Unità Sanitaria Locale di Cesena, Degenza Breve Chirurgica/Day Surgery (2010).
- [22] Medicina Perioperatoria, Sperimentazione di un Modello Organizzativo/Professionale Fase Pre-Operatoria, Regione Emilia-Romagna (2010).
- [23] Standard di Prodotto/Servizio, Servizio Sanitario Regionale Emilia Romagna, Azienda Unità Sanitaria Locale di Cesena, Ortopedia e Traumatologia (2006).
- [24] Standard di Prodotto/Servizio, Servizio Sanitario Regionale Emilia Romagna, Azienda Unità Sanitaria Locale di Cesena, Unità Operativa Chirurgia Vascolare (2009).
- [25] Standard di Prodotto/Servizio, Servizio Sanitario Regionale Emilia Romagna, Azienda Unità Sanitaria Locale di Cesena, Unità Operativa Chirurgia Generale Toracica (2010).

- [26] Standard di Prodotto/Servizio, Servizio Sanitario Regionale Emilia Romagna, Azienda Unità Sanitaria Locale di Cesena, Unità Operativa Dermatologia (2007).
- [27] Standard di Prodotto/Servizio, Servizio Sanitario Regionale Emilia Romagna, Azienda Unità Sanitaria Locale di Cesena, Unità Operativa Otorinolaringoiatria (2009).
- [28] E. Tanfani, A. Testi, A pre-assignment heuristic algorithm for the Master Surgical Schedule Problem (MSSP). *Annals of Operations Research* (2010).
- [29] A. Testi, E. Tanfani, Tactical and operational decisions for operating room planning: Efficiency and welfare implications. *Health Care Management Science* (2009).
- [30] A. Testi, E. Tanfani, G. Torre, A three-phase approach for operating theatre schedules. *Health Care Management Science* (2007).
- [31] J.M. van Oostrum, E. Bredenhoff, E.W. Hans, Suitability and managerial implications of a Master Surgical Scheduling approach. *Annals of Operations Research* (2010).
- [32] J.M. van Oostrum, M. Van Houdenhoven, J.L. Hurink, E.W. Hans, G. Wullink, G. Kazemier, A master surgery scheduling approach for cyclic scheduling in operating room departments. *OR Spectrum* 30 (2008).
- [33] J.M.H. Vissers, I.J.B.F. Adan, J.A. Bekkers, Patient mix optimization in tactical cardiothoracic surgery planning: a case study. *IMA Journal of Management Mathematics* (2005).
- [34] G. Wullink, M. Van Houdenhoven, E.W. Hans, J.M. van Oostrum, M. van der Lans, G. Kazemier, Closing emergency operating rooms improves efficiency. *Journal of Medical Systems* 31 (2007).

- [35] B. Zhang, P.Murali, M.M. Dessouky, D. Belson, A mixed integer programming approach for allocating operating room capacity. Journal of the Operational Research Society (2009)