

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Biomedica

Tesi di Laurea Magistrale

**Pianificazione attività del blocco
operatorio: una strategia per migliorare
l'esperienza del paziente**



Relatore

prof. Gabriella Balestra

Correlatori:

prof. Carlo Rafele

prof. Federico Della Croce

Candidata

Federica Cantino

Ottobre 2018

Contenuti

1	Introduzione	1
1.1	Nascita ed evoluzione del SSN	1
1.1.1	Le fonti del finanziamento del SSN e sue criticità	2
1.2	Il problema dell'efficienza dal punto di vista sanitario	3
1.3	Riduzione degli sprechi	4
1.4	Strumenti e difficoltà	5
2	La problematica del blocco operatorio	7
2.1	Analisi bibliografica	8
2.2	Il blocco operatorio di Ciriè	18
2.2.1	Gli spazi	18
2.2.2	Le risorse	19
2.2.3	Il personale infermieristico	19
2.2.4	Il coordinatore del blocco operatorio	20
2.2.5	Tipologie di ricovero	20
2.3	Le figure dell'équipe operatoria	21
2.3.1	Infermiere strumentista	21
2.3.2	Nurse di anestesia	22
2.3.3	Infermiere di sala	23
2.3.4	Chirurgo	24
2.3.5	Anestesista	24
2.4	Il processo "intervento chirurgico"	24
2.4.1	Oculistica fa eccezione	25
2.4.2	Gli interventi ambulatoriali fanno eccezione	25
2.5	Prime osservazioni e criticità	25
2.6	Scostamenti dall'idealità	27
2.7	Indicatori di performance	30
2.8	Opzioni migliorative	34
2.9	I reparti chirurgici	36
2.10	Analisi del pre-ricovero	38
2.10.1	Planning settimanale	40
2.10.2	Scelta dei pazienti	40
2.10.3	Processo il giorno del pre-ricovero	41
2.10.4	Difficoltà nell'utilizzo del software	43
2.10.5	Alcuni numeri	44
2.10.6	Il problema di oculistica	45

3	Pianificazione automatica del programma operatorio	49
3.1	Analisi bibliografica	49
3.2	Descrizione del problema	54
3.3	Definizione del modello	57
3.3.1	Dati	57
3.3.2	Variabili	59
3.3.3	Vincoli	60
3.3.4	Funzione obiettivo	61
3.4	Implementazione algoritmo	61
3.4.1	Dati	61
3.4.2	Algoritmi	62
3.5	Risultati	63
3.6	Conclusioni	69
	Appendice	71
A	Process modelling	73
A.1	Workflow diagram	73
A.2	Swimlane activity diagram	74
B	Modelli di programmazione lineare intera	77
C	Metodo del branch and bound	81
C.1	B&B per problemi di programmazione lineare intera	82

Lista delle Figure

1.1	Stima degli sprechi sulla spesa sanitaria pubblica 20016 [16]	4
2.1	Numero di studi, che hanno implementato SS o Lean all'interno del blocco operatorio, per anni [34]	8
2.2	Esempio d'identificazione dei muda nel processo in studio nell'articolo [18]	10
2.3	Analisi dei risultati della ricerca condotta sulla base di dati Scopus	11
2.4	Effetto della parallelizzazione delle attività in un processo [50]	12
2.5	Processo ridisegnato utilizzando la parallelizzazione delle attività [28] . . .	13
2.6	Esempi di riprogettazione dei processi [28]	13
2.7	Esempi di parametri che si possono utilizzare per descrivere vari processi .	17
2.8	Flowchart per la valutazione delle sedute operatorie del giorno successivo	20
2.9	Workflow intervento chirurgico, attore: infermiere strumentista	22
2.10	Workflow intervento chirurgico, attore: nurse di anestesia	23
2.11	Swimlane intervento chirurgico con linea temporale. Durata delle attività media relative a una TURV	26
2.12	Intervalli temporali per le varie attività e individuazione della fase pre-operatoria, operatoria e post-operatoria	29
2.13	Scheda per il rilevamento dei tempi chirurgici	30
2.14	Istogramma percentuali di scostamento assoluto per i vari interventi analizzati, suddivisione secondo specialità	31
2.15	Istogramma percentuali di scostamento negativo per i vari interventi analizzati, suddivisione secondo specialità	32
2.16	Swimlane del processo peri-operatorio, dalla preparazione in reparto alla dimissione dal blocco operatorio, al termine dell'intervento chirurgico . . .	37
2.17	Workflow delle attività comprese nel servizio del pre-ricovero	42
3.1	Livelli decisionali [27]	51
3.2	Esempio di Master Surgical Schedule [27]	51
3.3	Diagramma entità-relazione del database	62
3.4	Diagramma a blocchi del secondo algoritmo	64
3.5	Errore relativo tra il valore della funzione obiettivo ottenuta e il miglior possibile	65
C.1	Generazione delle soluzioni mediante l'operazione di Branch	81
C.2	Operazione di branching	i

Lista delle Tabele

2.1	Traduzione dei termini definiti dalla AACD per indicare i tempi dei vari milestone di un intervento chirurgico. OP = sala operatoria	14
2.2	Orari del personale infermieristico	20
2.3	Definizione degli intervalli temporali per le varie macro-attività che compongono un intervento chirurgico	29
2.4	Per ogni specialità percentuale di giorni nei quali la seduta inizia entro il periodo di tolleranza definito	33
2.5	Per ogni specialità percentuale di casi in cui il turnover è entro il periodo di tolleranza definito. Tempi medi di turnover time per ogni specialità . .	33
2.6	Per ogni specialità percentuale di giorni nei quali la durata della seduta sfora oltre il periodo di tolleranza definito	34
2.7	Per ogni specialità percentuale di giorni nei quali si terminano le operazioni pianificate prima della tolleranza definita	35
3.1	Tipi di ottimizzazioni possibili	54
3.2	Migliori soluzioni per l'istanza 1 al variare dei limiti temporali impostati .	63
3.3	Migliori soluzioni per l'istanza 2 al variare dei limiti temporali impostati .	64
3.4	Valori della funzione obiettivo per istanza 2	67
3.5	Valori della funzione obiettivo per istanza 1	67
3.6	Valori della funzione obiettivo per istanza 3	67
3.7	Percentuali di utilizzo della sala operatoria con istanza 2	68
A.1	Strutture rappresentabili con un workflow	74
B.1	Tipologie di programmazione lineare e relativi esempi	78

Capitolo 1

Introduzione

Oggi gli ospedali stanno vivendo un momento di profondo cambiamento nell'ambiente in cui operano a causa di tensioni contrastanti:

- l'aumento nella domanda di assistenza sanitaria e in particolare di prestazioni chirurgiche a causa dell'invecchiamento della popolazione
- la riduzione di risorse da parte dei governi a causa del periodo di crisi economica globale
- l'aumento dei costi delle cure ultra-specialistiche

La situazione attuale porta gli ospedali a confrontarsi con tre priorità: efficienza, sicurezza, contenimento dei costi mantenendo sempre come principale obiettivo il benessere del paziente e la qualità della prestazione a lui fornita. Per affrontare la sfida è necessario da un lato ripensare al ruolo dell'ospedale, dall'altro modificare i modelli logistico-organizzativi della struttura.

In anni che hanno visto una violenta recessione globale e una lenta ripresa, inevitabili sono stati i limiti nelle spese del settore sanitario sia pubblico che privato, rendendo così difficile soddisfare le necessità e le aspettative della popolazione. Al tempo stesso, l'enorme debito pubblico, accumulato per la maggior parte negli anni Ottanta, ha imposto la necessità di migliorare le finanze pubbliche per evitare l'inadempimento e rispondere agli imperativi della Commissione Europea. Per questo motivo l'Italia ha implementato una serie di politiche sia a livello centrale sia approvate autonomamente dalle singole regioni, che mirano ad aumentare l'efficienza nella spesa pubblica.

La Sanità è una delle maggiori voci di spesa per la pubblica amministrazione, ma al tempo stesso un settore strategico: infatti, data la spinta nell'utilizzo delle moderne tecnologie per il miglioramento della qualità della vita, è facile supporre che qui, piuttosto che in altri servizi pubblici, sia possibile trarre ottimi profitti investendo. Il suo buon funzionamento è sia per i cittadini sia per gli altri Stati un metro di valutazione importante per determinare il livello di vita e della società perché è nel settore della Sanità che i diritti dei singoli, nonché della collettività, acquistano concretezza.

1.1 Nascita ed evoluzione del SSN

Il servizio sanitario nazionale è lo strumento operativo per garantire la tutela della salute come stabilito dall'articolo XXXII della Costituzione Italiana. Infatti, i principi fondamentali sui quali si basa sono i principi di universalità e uguaglianza, che assicurano che

qualsiasi cittadino abbia garantite le medesime prestazioni sanitarie a parità di bisogno, e il principio di globalità, secondo il quale viene presa in considerazione la persona e non la malattia. Si tratta di un modello universalistico, che fu promosso a partire dal 1940 da Lord Beveridge (per questo si chiama anche modello di Beveridge) e fu introdotto pochi anni dopo in Gran Bretagna, con la nascita del National Health Service.

Il Servizio Sanitario Nazionale fu istituito nel 1978 con la prima riforma sanitaria, che permetteva di inaugurare un sistema basato sui principi di unitarietà e universalità. In ambito politico e istituzionale la svolta fu la creazione delle USL, Unità Sanitarie Locali, cui era affidata nel concreto la gestione dell'assistenza sanitaria. A causa dei costi incontrollabili dati dalla separazione dei poteri tra chi effettua la spesa e chi la finanzia, della mancanza di standard minimi di assistenza e della scarsa qualità delle prestazioni, una seconda riforma sanitaria entrò in vigore nel 1992 e diede inizio al processo di regionalizzazione e aziendalizzazione.

Oggi lo Stato ha compiti di pianificazione in materia sanitaria, che si esplicano nella definizione del Piano Sanitario Nazionale, e assicura il diritto alla salute mediante l'individuazione dei Livelli Essenziali di Assistenza (LEA), che sono gli standard minimi che devono essere garantiti ai cittadini aventi diritto. Il secondo livello organizzativo è costituito dalle Regioni, le quali hanno responsabilità per quanto concerne la programmazione sanitaria, il finanziamento e il controllo delle attività gestite dalle unità operative. Queste ultime cambiano il loro nome in ASL, ossia Aziende Sanitarie Locali, a sottolineare come si siano trasformate in aziende regionali con propria personalità giuridica e dotate di autonomia organizzativa, amministrativa e patrimoniale. Esse perseguono gli obiettivi di salute imposti dalla programmazione nazionale e regionale (Conferenza Stato-Regioni per la stipulazione dei "Patti di Salute" redatti ogni tre anni) nel rispetto dei vincoli di bilancio. A livello territoriale le ASL si diramano ulteriormente in distretti sanitari, dipartimenti di prevenzione e presidi ospedalieri. L'assistenza ospedaliera garantisce i ricoveri per il trattamento di condizioni patologiche che richiedono interventi di urgenza o emergenza e per la cura delle malattie che non possono essere trattate in ambulatorio o a domicilio. Tra i servizi offerti dal SSN la rete ospedaliera rappresenta il settore che maggiormente incide sulla spesa sanitaria complessiva: per questo motivo è prioritaria una riorganizzazione che promuova una razionalizzazione nell'utilizzo delle risorse, mantenendo buoni livelli di qualità dei servizi offerti.

1.1.1 Le fonti del finanziamento del SSN e sue criticità

La Direttiva legislativa 65/2000 ha individuato tre elementi portanti per la sostenibilità del SSN: il finanziamento pubblico, che garantisce i Livelli Essenziali di Assistenza, la sanità collettiva integrativa, che copre prestazioni non essenziali, e la Sanità Individuale. Quest'ultima può essere suddivisa tra Fondi Sanitari Integrativi e polizze assicurative da un lato, e spesa out-of-pocket (diretta dei cittadini, vi rientrano i ticket) dall'altro. Secondo la fondazione GIMBE, che nel Settembre 2016 ha lanciato l'Osservatorio sulla sostenibilità del Sistema Sanitario Nazionale, quattro sono le criticità: definanziamento pubblico, sprechi e inefficienze, nuovi LEA e ipotrofia della spesa privata intermediata [16]. Il definanziamento pubblico "coincide con un lungo e grave periodo di crisi economica e di conseguenti scelte politiche che hanno trasferito il peso della Sanità quasi interamente sulle Regioni" [16], con l'esigenza di allocare nello stesso organo sia le decisioni di spesa che di investimento, in modo da ridurre gli sprechi [1] e di obbligarle a rispondere dei disavanzi prodotti, proponendo dei Piani di Rientro. Il confronto che mostra in maniera

eclatante questo fenomeno è tra la crescita percentuale della spesa pubblica negli anni 2000-2008, pari al 60%, e quella nel 2009-2015, invece solo del 2,9%.

1.2 Il problema dell'efficienza dal punto di vista sanitario

La gestione del blocco operatorio e più in generale della struttura ospedaliera in tutti i suoi aspetti e a diversi livelli, influenza la qualità della prestazione fornita al paziente in termini di efficienza e sicurezza. Limitandosi all'argomento di questa tesi, ossia il blocco operatorio e i reparti associati, il percorso del paziente ha inizio con la visita nella quale si stabilisce la necessità di intervento e termina con la dimissione dopo il post-operatorio e il follow-up successivo.

Nella fase di preospedalizzazione il paziente è chiamato presso la struttura per alcuni esami e analisi diagnostiche, la visita anestesiológica e la compilazione della cartella clinica. Se code eccessivamente snervanti o l'obbligo di recarsi più volte presso la struttura determinano un abbassamento nella qualità percepita del servizio, una chiamata che arriva dopo il limite di tempo definito dal codice di priorità all'intervento, una visita anestesiológica sbrigativa o lo scambio di provette durante le analisi sono tutti rischi per la salute del paziente.

Successivamente la fase di ospedalizzazione ha inizio con l'accettazione presso il reparto chirurgico di competenza la mattina dell'intervento. Ritardi in questo step si ripercuotono sulla programmazione operatoria e quindi sull'intero sistema. Una cattiva gestione può far sì che il paziente si veda annullato l'intervento e posticipato di un giorno o più: questa è fonte di frustrazione e scontento perché deve assentarsi dal lavoro, non può dormire a casa propria e potrebbe mal sopportare il dolore.

Il processo all'intero del blocco operatorio è la fase chiaramente più delicata e deve svolgersi in modo fluido senza attese tra un'attività e la successiva come può essere per esempio aspettare a lungo in presala dopo l'accettazione al passamalati e prima dell'ingresso in sala operatoria. È necessario che il paziente sia sempre supervisionato e possa far riferimento a una persona perché è un momento nel quale è esposto e fragile. Lo svolgimento dell'intervento influisce pesantemente sulla qualità della prestazione: un team che lavora in modo organizzato e comunica esegue le operazioni con maggior precisione e in tempi più rapidi riducendo così la durata totale della prestazione e quindi la probabilità di rischi connessi (complicanze, infezioni, anestesia particolarmente lunga, dolore...).

Infine il post-operatorio ha inizio con il risveglio del paziente che deve avvenire in un luogo attrezzato in presenza di personale esperto. L'eventuale mancanza di letti in reparto viene gestita solitamente spostando il paziente presso un'altra specialità chirurgica. Questo è un problema minore per le strutture medio piccole perché i reparti sono vicini, ma nel caso dei grandi ospedali il paziente resta più isolato senza il personale esperto per la sua condizione e senza il medico di riferimento. Questa breve panoramica permette di capire il motivo per cui l'applicazione degli strumenti propri del risk management per il monitoraggio e la raccolta dati sia sempre più diffusa all'interno delle strutture sanitarie. L'eliminazione dei rischi potenziali comporta una revisione dei processi all'interno del blocco operatorio con il fine di migliorare la qualità del servizio fornito e garantire la sicurezza dei pazienti. L'idea alla base è che, attraverso una ri-progettazione dei processi e una ri-definizione dei ruoli, si possa ottenere un risparmio di tempo, costi e impegno in modo da liberare risorse preziose che consentano di curare più pazienti, meglio. I problemi tipici degli ospedali sono [2]:

- ritardi e tempi lunghi di attesa

Categoria	%	Mld €	(±20%)
1. Sovra-utilizzo	30	6,75	(5,40 - 8,10)
2. Frodi e abusi	22	4,95	(3,96 - 5,94)
3. Acquisti a costi eccessivi	10	2,25	(1,80 - 2,70)
4. Sotto-utilizzo	15	3,38	(2,70 - 4,05)
5. Complessità amministrative	11	2,48	(1,98 - 2,97)
6. Inadeguato coordinamento dell'assistenza	12	2,70	(2,16 - 3,24)

Figura 1.1: Stima degli sprechi sulla spesa sanitaria pubblica 2016 [16]

- errori nei processi clinico-assistenziali
- ritmi di lavoro eccessivi e stressanti
- scarsa integrazione tra figure professionali
- inappropriately e sprechi di risorse

1.3 Riduzione degli sprechi

Una strategia per contribuire alla sostenibilità del Sistema Sanitario Nazionale è procedere con il disinvestimento da sprechi e inefficienze, che, secondo la tassonomia di Don Berwick, contribuiscono al 20% della spesa pubblica [22], risultato confermato dall'OCSE che ha calcolato come 2 euro su 10 “apportino un contributo minimo o nullo al miglioramento della salute delle persone” [16].

In Sanità sprechi e inefficienze coinvolgono tutti i processi, tutti i livelli organizzativi e tutti gli stakeholder; nel 2016 sono stati stimati essere di 22,51 miliardi, per un maggior dettaglio sulla loro ripartizione tra le varie categorie si riporta la tabella 1.1.

Partendo dalla definizione di spreco, ossia “attività che consuma risorse senza generare value” [41], due sono le modalità per ridurlo: eliminare tali attività o cercare alternative di pari efficacia, ma minor costo. È interesse delle regioni lavorare in questa direzione perché, secondo il Patto della Salute 2014-2016 “i risparmi derivati dall'applicazione delle misure contenute nel Patto rimangono nella disponibilità delle singole Regioni per finalità sanitarie”. Per questo motivo i manager sanitari sono chiamati a una riorganizzazione integrata dell'Ospedale e responsabilizzati sia sulle risorse che sui risultati da ottenere. Due sono gli ambiti nei quali l'efficienza va massimizzata: la movimentazione delle risorse e la gestione dei flussi di pazienti. Con il primo si fa riferimento a un uso ottimale dei beni, dal loro acquisto all'utilizzo passando per l'immagazzinamento. La seconda area riguarda le varie modalità con cui i cittadini entrano in contatto con le singole unità produttive, cioè reparti e dipartimenti, lungo la catena che va dal primo accesso alla struttura fino alla dimissione (dal corso “La gestione operativa in sanità”, master in Operations management, SDA Bocconi).

1.4 Strumenti e difficoltà

In un ambiente in continua trasformazione, la razionalità produttiva è necessaria e i manager sanitari sono chiamati a migliorare costantemente l'efficienza della struttura per venire incontro all'aumento nella domanda di cure di alta qualità nel contenimento dei costi [9]. L'aumento dell'efficienza, oltre il semplice vantaggio da un punto di vista meramente finanziario, permette guadagni in termini di miglioramento della sicurezza per il paziente, del livello del servizio e di soddisfazione del team chirurgico [34, 20, 26].

In questo contesto aumentare l'efficienza produttiva va interpretato come “fare di più con le medesime risorse”, ossia ridurre costi e sprechi e eliminare i colli di bottiglia, creando processi più snelli, flessibili e soprattutto standardizzati. È tuttavia scoraggiante pensare alle innumerevoli casistiche che si possono osservare in Sala Operatoria e chiaramente alle incertezze di questo sistema: cambiano i pazienti, i tipi di intervento e le procedure che chirurghi diversi scelgono di adottare, possono esserci urgenze o cancellazioni dell'ultimo minuto, solitamente causate da cambiamenti repentini nello stato di salute del candidato, dalla sua violazione di istruzioni pre-operatorie. . . [44, 9]. La variabilità può essere clinica, legata al comportamento dell'individuo oppure legata ai flussi. Il primo caso è relativo al fatto che al blocco operatorio afferiscono differenti specialità, ognuna delle quali cura diverse patologie di vari livelli di gravità utilizzando terapie differenti per le quali la risposta cambia a seconda del paziente. Il secondo tipo di variabilità è invece legato al fatto che i servizi ospedalieri sono forniti da persone per persone e la componente umana è quindi rilevante: l'esperienza e l'abilità del personale hanno importanza per quanto concerne il livello della prestazione e la velocità della sua esecuzione, le scorrettezze dei pazienti, come ritardi nel presentarsi, violazioni delle istruzioni pre-intervento, cancellazioni delle prenotazioni all'ultimo minuto, incidono negativamente sulla pianificazione. La variabilità nei flussi è invece legata alle diverse modalità con cui può verificarsi l'accesso al blocco operatorio, programmato o in urgenza, e la modalità di ricovero. La standardizzazione è quindi possibile in Sanità a seconda della variabile che si prende in considerazione: si può avere un impatto significativo solo sulla variabilità artificiale, ossia causata da disfunzioni nei processi, che può essere eliminata grazie a una riorganizzazione degli stessi.

Per incidere positivamente sull'efficienza in Sala Operatoria, la letteratura nell'ultimo decennio ha mostrato come si siano applicati i principi seguiti dall'industria, come la Lean e Six Sigma. I risultati consistono sovente nella realizzazione di clinical pathways, definiti come la sequenza di tutti gli step elementari, e la loro durata, che vanno a comporre un determinato processo, per esempio l'intervento chirurgico [9]. Il passo successivo per garantire un uso ottimale delle risorse a disposizione, è assicurarsi che la pianificazione delle ore di attività della Sala Operatoria sia accurata. Sempre in letteratura tanti sono i modelli matematici di ottimizzazione realizzati per schedare in modo automatico tutte le attività e determinare, su una certa base temporale, l'insieme di pazienti che devono essere operati [9, 6].

Capitolo 2

La problematica del blocco operatorio

L'attuale percorso che il paziente segue quando si sottopone a un intervento chirurgico viene mappato per identificare le ridondanze e gli sprechi in modo da migliorarne l'efficienza, riducendo i tempi non operativi. A causa della sua complessità, per essere apprezzato, viene scomposto nelle sue parti, le quali possono essere ulteriormente sezionate in modo da valutare possibili perfezionamenti. Il taglio utilizzato prevede l'analisi di ogni stakeholder, ossia di ogni soggetto coinvolto in modo diretto o indiretto, per capire quali siano i suoi compiti. Successivamente si assume una prospettiva d'insieme per capire come le varie figure interagiscano.

Lo strumento scelto per modellizzare il processo è lo swimlane, che rispetto al classico workflow, usato per rappresentare l'insieme di azioni svolte da ogni elemento del team, offre un dettaglio informativo maggiore (vedere appendice A). A ogni attore che prende parte al processo è associata una colonna del diagramma e le attività che gli competono sono posizionate al suo interno, per cui man mano che il flusso procede ci si sposta tra le colonne: in questo modo si ha la percezione immediata del momento in cui i vari attori sono coinvolti e di quali compiti svolgano. Questo permette anche una migliore visualizzazione delle attività svolte in parallelo; inoltre, sviluppandosi in verticale, offre vantaggi in termini di leggibilità e comprensione.

Dopo la valutazione dell'organizzazione del processo in termini qualitativi, ed eventualmente l'applicazione di alcune modifiche opportune, occorre osservare gli scostamenti che la realtà ha necessariamente rispetto la formulazione ottima. Sulla base dell'entità di queste differenze sarà possibile individuare quali siano le cause, se dovute a inefficienze a livello di risorse umane impiegate oppure legate alle incertezze che inevitabilmente affliggono il sistema. Con il medesimo intento si possono anche impiegare alcuni indicatori di performance, che offrono un punto di vista maggiormente quantitativo.

Il capitolo è organizzato in modo da offrire una panoramica descrizione del Blocco Operatorio del presidio ospedaliero di Ciriè, segue la descrizione delle figure del team chirurgico e del processo nel suo insieme. Dopo la valutazione qualitativa e il calcolo di alcuni indicatori di performance, sono presentate possibili opzioni migliorative. Infine, seguendo l'idea di individuare eventuali inefficienze, si allarga la prospettiva valutando il percorso del paziente comprendente il reparto e il funzionamento del pre-ricovero.

Al termine si sarà quindi esaminato l'intero percorso fisico, ossia il passaggio del paziente attraverso le diverse aree dell'ospedale, dal momento del suo primo accesso alla struttura (decisione di operare) fino alla fase di dimissione e gestione del post-acuto.

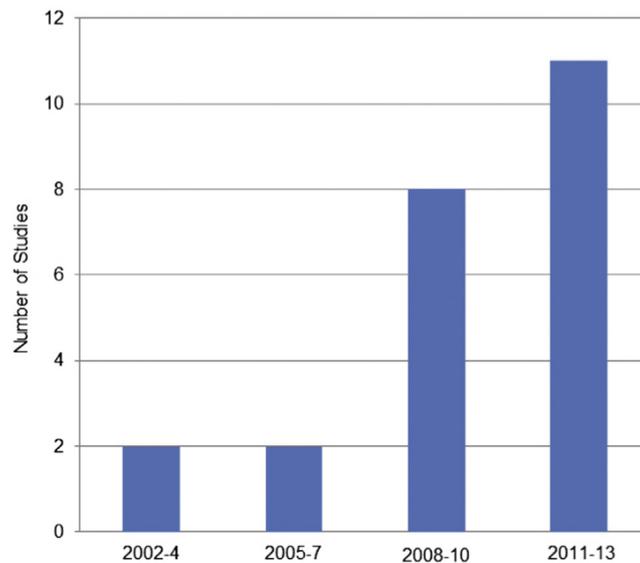


Figura 2.1: Numero di studi, che hanno implementato SS o Lean all'interno del blocco operatorio, per anni [34]

2.1 Analisi bibliografica

Oltre al semplice aspetto finanziario, migliorare l'efficienza di una sala operatoria ha innumerevoli vantaggi per il paziente per quanto riguarda la sua sicurezza e la qualità della prestazione a lui fornita [44, 26] e per gli stakeholder in quanto si ottiene un ambiente lavorativo più vivibile.

Il settore industriale si interfaccia fin dal secolo scorso con le questioni del miglioramento dell'efficienza e della riduzione della variabilità e dell'errore, e ha dimostrato la necessità di metodi sistematici, riproducibili e basati sull'evidenza [34, 36], che hanno come obiettivo la riduzione degli sprechi, la standardizzazione della produzione e l'abbassamento dei costi del personale [44].

Queste metodologie di miglioramento della qualità (QI methodologies) sono state trasferite verso il settore sanitario solo nell'ultimo decennio e la letteratura propone vari tentativi di applicazione di questi principi. In particolare l'uso della Lean e del Six Sigma [34], iniziato nel 2000, è cresciuto nel tempo come si può osservare nel grafico 2.1 che mostra come il numero di studi condotti per gruppi di anni sia in costante aumento.

Il Lean thinking è una strategia operativa nata negli anni Ottanta nel settore automotive giapponese (Toyota Motor Corporation) e il suo scopo è il miglioramento dell'efficienza produttiva attraverso la riduzione degli sprechi e la standardizzazione. Questo obiettivo viene realizzato attraverso cinque step [44]:

- identificazione del valore, ossia di ciò che è rilevante per il cliente
- mapping del processo, che consiste nell'identificare l'insieme di azioni (e la loro sequenza) che portano a realizzare l'oggetto o servizio. Fra di esse è importante individuare quelle che non danno valore aggiunto (i muda) e che quindi devono essere eliminate
- creare flussi, ovvero far in modo che le attività vadano a comporre un processo unico, non siano un insieme di funzioni distinte e il prodotto scorra senza interruzioni, in modo fluido

- “far scorrere” o variare il flusso in base alle richieste e i tempi del cliente, con una strategia pull
- puntare alla perfezione attraverso un processo di continuo miglioramento

Viene spesso accoppiata ai principi della SixSigma, che nasce negli stessi anni all’interno di una multinazionale nel settore tecnologico, la Motorola. Questo programma di gestione della qualità utilizza metodi statistici per rendere i processi più uniformi, partendo dal principio per cui la produzione raggiunge la perfezione all’interno di sei deviazioni standard (sigma) dalla media [44], ossia nel momento in cui sia hanno solo 3,4 parti difettose per milione. Tale risultato è ottenibile con uno stretto controllo sul processo produttivo.

La filosofia orientale prevede un ciclo infinito centrato sulla mappatura e l’adattamento delle diverse fasi del processo per preservare quelle attività che forniscono valore ed eliminare le fonti di spreco [34] senza potenziamenti nelle risorse disponibili. Grazie a questi punti di forza è stato scelto in diverse realtà e da diversi ricercatori [18, 17, 44, 34, 19, 53, 37] come metodo per la riorganizzazione del processo operatorio. Nel 2012 in Michigan Collar, Shuman et al. [18] eseguirono uno studio di diciotto mesi per determinare gli effetti dell’applicazione della Lean in una singola sala operatoria in termini di efficienza e redditività. Un team multidisciplinare ha descritto mediante swimlane l’intero processo operatorio e grazie a questo strumento ha potuto identificare i muda ed eseguire per ognuno l’analisi delle cause principali (root-causes analysis). Si riporta l’immagine 2.2 per un dettaglio maggiore. In questo modo è stato successivamente possibile attuare cambiamenti mirati e valutare un nuovo processo in termini di efficienza (turnover-time e turnaround time), soddisfazione del team e costi. Le conclusioni positive sono prova che l’applicazione di questa strategia possa essere utile per fornire ai pazienti un miglior servizio. Negli stessi anni Cima e Brown [17] hanno lavorato in un centro medico universitario con il medesimo fine, applicando gli strumenti operativi della Lean in modo differente, ottenendo un incremento nel numero delle sale che iniziano in orario. Il team multidisciplinare ha sviluppato la value stream map del patient Journey e sono stati identificate cinque diverse aree di lavoro: scheduling delle operazioni per una pianificazione orientata a un uso costante delle risorse, definizione di un processo di prericovero standardizzato, riduzione dei tempi non operatori per ottimizzare il patient flow, snellimento nella documentazione per evitare la ridondanza dell’informazione e aumento del coinvolgimento e dell’impegno del personale.

Oltre alle metodologie sopra citate, anche la theory of Constraint (TOC) è stata applicata al settore sanitario [36]. Partendo dal presupposto che i sistemi possono essere bloccati da colli di bottiglia, occorre agire su questi ultimi per ottenere un miglioramento nei processi. L’articolo [30] utilizza questa strategia per incrementare il numero di volte in cui la giornata operatoria inizia in orario (parametro first-case on-time). Individuato il collo di bottiglia e le sue cause, ossia la mancanza di documentazione, test pre-operatori incompleti o mancanza dei chirurghi, le azioni volte ad alleviarlo sono state molteplici. Diverse infermiere sono state riassegnate al reparto di ammissione, sono stati parallelizzati i processi per accelerare l’anestesia, è stata imposto di verificare prima dell’inizio della seduta che le sale operatorie siano preparate con lo strumentario e i macchinari adatti. Il parametro in analisi è aumentato dal 40% all’80%.

Con questi esempi si evince come alla base della riorganizzazione del blocco operatorio ci sia una riprogettazione dei processi e utilizzando le keyword ”operating room” and “process redesign” or ”process modelling” per vagliare la letteratura diversi sono i risultati [28, 46, 50, 45, 7, 29]. A questo scopo è stata usata la banca dati bibliografica *Scopus*: utilizzando come chiave di ricerca (KEY (operating AND room) AND KEY (process

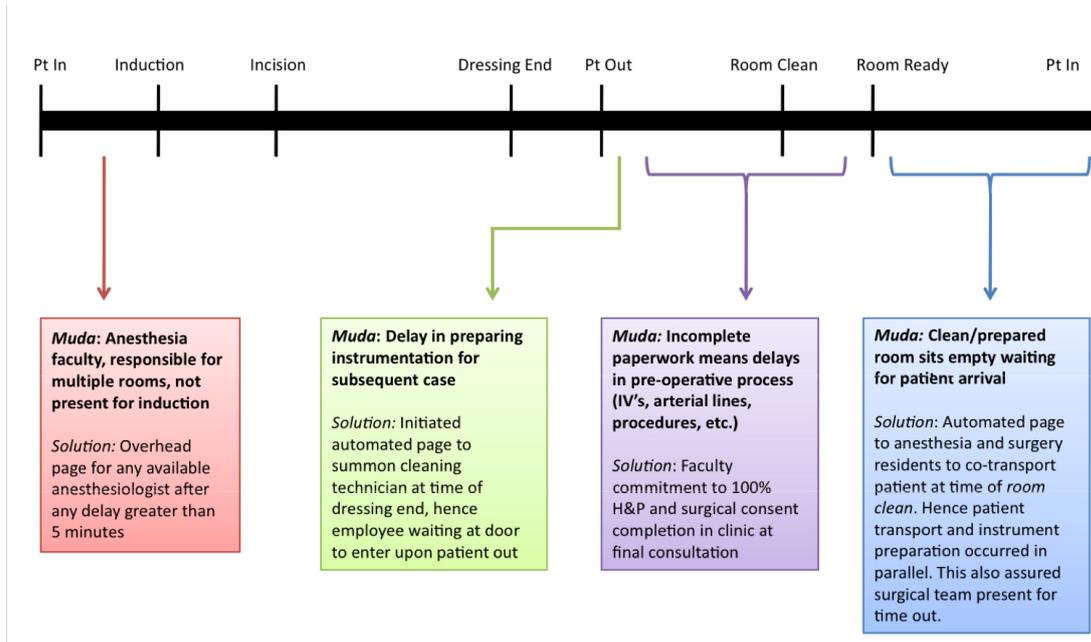


Figura 2.2: Esempio d'identificazione dei muda nel processo in studio nell'articolo [18]

AND redesign) OR KEY (process AND modelling) OR KEY (patient AND flow) OR KEY (patient AND journey)) AND (EXCLUDE (SUBJAREA , "BIOC") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "PHAR")) sono stati ottenuti 175 documenti. L'analisi del risultato di questa ricerca, realizzata con il tool presente sul sito, mostra come, a partire dagli anni 2000 l'interesse in questo ambito sia cresciuto. A tal proposito si consideri il grafico 2.3 che mostra l'andamento del numero di scritti pubblicati per anno, usando come intervallo temporale di riferimento gli ultimi trent'anni.

In tutti questi articoli il process modelling è utilizzato come strumento per migliorare l'efficienza in uno o più dei modi seguenti: eliminazione delle attività superflue, parallelizzazione delle attività ove possibile e spostamento all'esterno della sala operatoria di tutte quelle operazioni che lo ammettono (deve restare inalterata la sicurezza del paziente e l'efficacia dell'attività). Stahl e Sandberg [50] partono dalla convinzione dei chirurghi che lunghi periodi di turnover siano il maggior impedimento alla loro produttività e ipotizzano non solo un nuovo processo che sincronizzi le funzioni delle persone chiave (infermieri, anestesista e chirurgo), ma anche nuovi spazi, sala di induzione e sala risveglio, nei quali si possano svolgere attività prima eseguite in sala operatoria. In questo modo, descritto dalla figura 2.4, le fasi pre-operatoria, operatoria e post-operatoria su pazienti diversi si trovano ad essere contemporanee e non più in serie, con drastica riduzione delle tempistiche globali: si passa da 104,5 minuti a 88,4 minuti come tempo operatorio totale e il tempo risparmiato è tutto nella fase peri-operatoria. Nello stesso anno (2005) uno studio molto simile è stato condotto nel Massachusetts General Hospital [45]: gli autori hanno proposto un'organizzazione tri-camera in modo tale che tutte le attività non chirurgiche siano eseguite negli spazi di supporto, ossia sala di induzione e sala risveglio. Questi cambiamenti richiedono un investimento non solo per la costruzione vera e propria delle sale, ma anche in personale per la loro gestione e in nuove tecnologie. Infatti, lo spostamento dei pazienti è possibile solo con l'uso di tavoli operatori a piani trasferibili, ossia dotati di carrello per la movimentazione e colonna fissa in sala operatoria da usare durante l'intervento. Ancora nel 2006 Harders, Malangoni et al. [28] hanno lavorato per

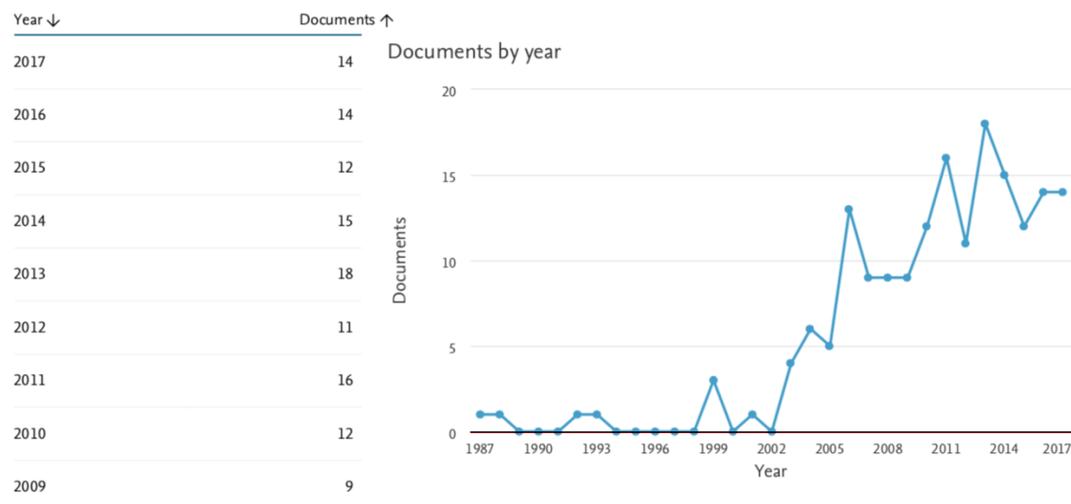


Figura 2.3: Analisi dei risultati della ricerca condotta sulla base di dati Scopus

oltre tre mesi per ridisegnare i processi del MetroHealth Medical Center allo scopo di ridurre i tempi non operatori di turnover, induzione di anestesia e post operatorio (figura 2.5). I miglioramenti testati e incorporati nella progettazione del nuovo patient flow sono presentati in tabella 2.6 e sottolineano l'importanza di un precovero le cui attività siano svolte giorni prima in modo tale da minimizzare non solo le interruzioni non cliniche, ma le cancellazioni dovute a valutazioni negative da parte degli anestesisti. Il risultato è stata una riduzione di oltre venti minuti nei tempi non operatori.

Nel momento in cui si ri-progetta un processo, la scelta di portar fuori dalla sala operatoria l'attività di induzione d'anestesia è sicuramente una decisione critica [M14]. Nell'articolo [47] gli autori sostengono che strumenti di monitoraggio inadeguati, mancanza di personale e praticare in un nuovo spazio potrebbero inficiare negativamente sulla salute del paziente e propongono linee guida per ridurre le probabilità di eventi avversi. Secondo [M10] avere un team separato che si occupa solo dell'induzione di anestesia e che serve tutte le Sale Operatorie, potrebbe essere efficiente da un punto di vista dei costi, ma sostiene occorrono un numero maggiore di studi che si assicurino della sicurezza dal punto di vista del paziente.

Nonostante l'interesse crescente, mostrato dalle strutture ospedaliere, verso la gestione ottimizzata dei flussi di pazienti, gli studi scientifici a riguardo non hanno ancora sviluppato un quadro completo e sistematico per misurarne le performances [54, 33]. Non esiste un indicatore univoco che possa rappresentare ogni aspetto dell'efficienza dal punto di vista della molteplicità delle figure coinvolte, le quali hanno priorità e obiettivi distinti [24, 44]. Per questo motivo, le istituzioni che hanno come obiettivo la valutazione delle inefficienze, hanno selezionato un insieme di indicatori che ritengono esaustivo e adatto alle proprie esigenze. Sarebbe opportuna una standardizzazione della metrica perché il monitoraggio su base continua permetterebbe di realizzare un'analisi comparativa sia interna, ossia la valutazione dell'andamento nel tempo, sia esterna, quindi il confronto con altre realtà o con una situazione ideale [54]. La letteratura mostra una certa ripetibilità nella definizione di alcuni indicatori, tutti caratterizzati per essere semplici da misurare in quanto ottenibili a partire da dati spesso già disponibili nel blocco operatorio. Essi sono definiti dall'*American Association of Clinical Directors* e sono riportati nella tabella 2.1.

Essi sono:

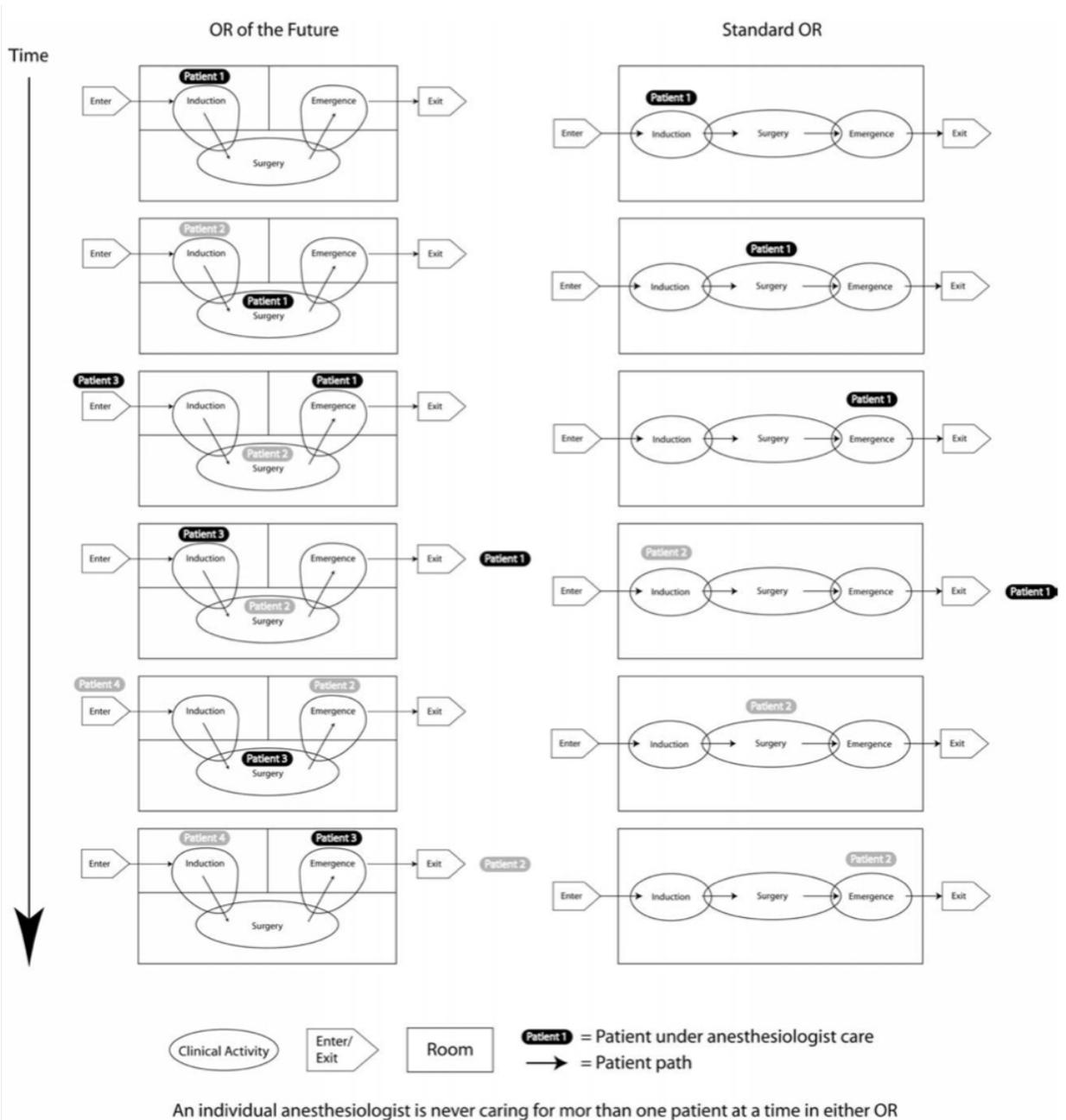


Figura 2.4: Effetto della parallelizzazione delle attività in un processo [50]

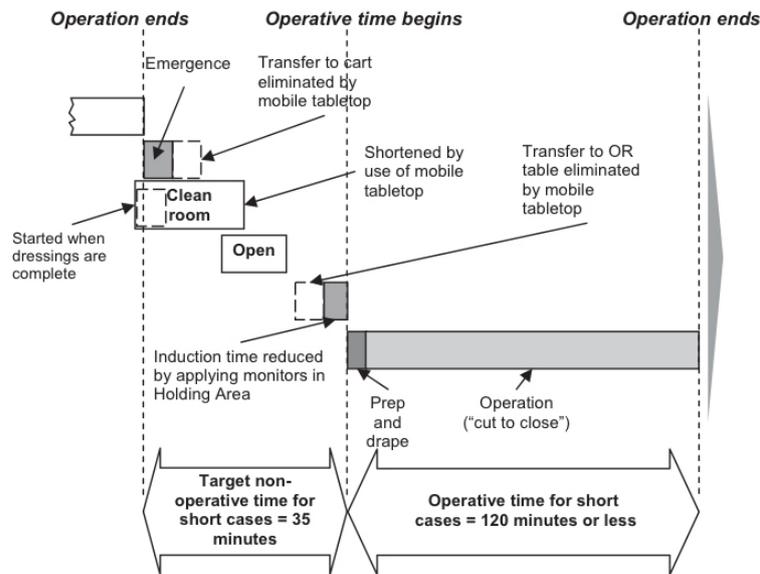


Figura 2.5: Processo ridisegnato utilizzando la parallelizzazione delle attività [28]

Table I. Examples of process redesign

Tasks transferred out of the operating room

1. Patient placed on mobile table top in holding area
2. Preoperative nurse interview obviates the need for circulating nurse interview
3. Monitoring leads placed on patient in the holding area
4. Patient taken to the postanesthetic care unit on mobile table top

Parallel processing

1. Anesthesia interviews next patient and obtains medications during ongoing case
2. Environmental services personnel begins room cleanup as dressing is placed
3. Anesthesia personnel splits duties: one takes the current patient to the postanesthetic care unit, while the other prepares the room for next patient
4. Circulating nurse and scrub open instruments and prepare room during cleanup
5. Case carts brought to substerile area before room cleanup

Minimization of nonclinical disruptions

1. Operative permits are scanned in surgeons' offices
2. Mandatory presurgical evaluation instituted
3. All patient information (including operative permits) available on the hospital information system

Figura 2.6: Esempi di riprogettazione dei processi [28]

Tabella 2.1: Traduzione dei termini definiti dalla AACD per indicare i tempi dei vari milestone di un intervento chirurgico.
 OP = sala operatoria

Nome	Definizione
<i>Inizio delle cure</i>	il medico anestesia prende in carico il paziente (inizio attività fatturabili)
<i>Induzione d'anestesia</i>	somministrazione dei farmaci per l'anestesia
<i>Paziente entra in OP</i>	il paziente attraversa la porta della sala operatoria
<i>Inizio preparazione chirurgica</i>	si suppone il paziente pronto per essere posizionato
<i>Incisione</i>	il chirurgo inizia ad operare
<i>Sutura</i>	il chirurgo termina e si sveste
<i>Paziente esce dalla OP</i>	il paziente attraversa la porta della sala operatoria per uscire

- *Precisione nell'inizio del primo caso*: in letteratura solitamente si consente un periodo di tolleranza variabile tra i 0 e i 15 minuti. Inoltre potrebbe essere più accurata la valutazione dell'orario del momento di incisione del primo paziente, anche se questo può essere influenzato sia dalla complessità nella preparazione sia da eventuali mancanze nella reattività del team (esempio: uno o più membri non sono fisicamente presenti quando il paziente è pronto per l'incisione). Si tratta di un indicatore largamente utilizzato data la sua importanza: è sufficiente pensare che iniziare in ritardo significa avere un potenziale shift di tutte le chirurgie successive nella giornata e quindi costi relativi agli straordinari e insoddisfazione per il personale [44, 34, 36, 30, 24, 35, 21, 33]
- *Turnover-time*: misura il tempo medio che intercorre tra l'uscita del paziente precedente e l'ingresso del paziente successivo, quindi riguarda il tempo in cui la sala è vuota e destinata alle pulizie. Si assume che il paziente successivo debba essere già pronto per l'intervento, quindi eventuali tempi particolarmente lunghi sono legati alla mancanza del paziente, che non è arrivato dal reparto. Per la sua valutazione occorre scremare i casi che riguardano ritardi di altro tipo, ad esempio dovuti alla schedulazione [44, 34, 36, 7, 29, 31]
- *Turnaround-time*: dato dall'intervallo tra la sutura di un paziente e l'incisione di quello successivo, quindi è relativo al tempo nel quale non c'è chirurgia. È riferito alla figura del medico chirurgo, l'elemento più "costoso" di tutta l'equipe chirurgica. Viene anche definito "Non operative time" e viene ridotto introducendo nuove tecnologie, aumentando il personale e favorendo lo svolgimento di attività in parallelo [18, 28, 44, 34, 17, 33]
- *Throughput-time*: riferito a un paziente, è il tempo che trascorre all'interno del blocco operatorio, ha come estremi i momenti in cui attraversa il passa-malati [34, 7]
- *Setup sala operatoria*: molto simile al turnover time, relativo ai pazienti, si riferisce al tempo in cui la sala, terminato un intervento, viene riportata alle condizioni iniziali (riordino e pulizia) e preparata con tutto lo strumentario e i macchinari occorrenti all'operazione successiva [28]
- *Uso della sala operatoria*: si può calcolare come "utilizzo complessivo", ossia il tempo in cui la sala rimane aperta sia per attività effettive sia per il turnover, oppure come "utilizzo specifico", pensabile come il rapporto tra il tempo in cui effettivamente si opera e il tempo totale
- *Percentuale di chiusure non pianificate*: possono verificarsi a causa di carenze impreviste di personale o attrezzature, pulizie per il controllo delle infezioni, o malfunzionamenti delle attrezzature [24]
- *Precisione della durata del caso*: ossia il tempo che intercorre tra l'entrata e l'uscita del paziente dalla sala operatoria. Assume importanza anche il tempo di rotazione [24]
- *Prestazioni eseguite fuori orario*: può essere causato dall'aggiunta di casi urgenti oppure dal fatto che un intervento in elezione vada oltre l'orario previsto [24, 5]
- *Tasso di interventi cancellati*: ci si riferisce al caso in cui la cancellazione avvenga il giorno in cui l'intervento era programmato, poche ore prima la sua esecuzione

o subito prima, per esempio perché le sue condizioni non permettono l'induzione d'anestesia [24]. Può essere minimizzato con un uso robusto e standardizzato del pre-ricovero [44]

- *Costi del personale non previsti*: fa riferimento ai costi nel chiamare infermieri supplementare o pagare in più quelli esistenti. Possono derivare sia da un eccessivo utilizzo (un caso va oltre un giorno di sala operatoria programmato) sia dal sottoutilizzo (pagare gli infermieri per riempire un turno programmato quando i casi sono troppo pochi o i tempi dei casi sono eccessivamente lunghi) [24, 33]
- *Giorni di degenza*: numero di giorni nei quali un paziente occupa un posto letto presso il reparto di competenza prima della dimissione dall'ospedale [39, 8]
- *Tempo di attesa per l'operazione*: corrisponde alla lista di attesa [55]
- *Numero di giorni in cui il paziente deve recarsi all'ospedale* [55]
- *Durata degli esami diagnostici pre-operatori* [56]

La review [34] distingue i vari risultati mappandoli sui processi che si devono ottimizzare per ottenerli. Questi possono essere classificati: percorso peri-operatorio (comprende anche i pazienti ambulatoriali), intervento chirurgico, e post-operatorio (dalla degenza al follow up successivo). Viene riportato lo schema 2.7.

I parametri da 1 a 12 permettono di valutare l'efficienza del blocco operatorio. In questo ambito rientra anche la qualità del lavoro del team e il morale, che viene dedotta utilizzando questionari. I successivi descrivono la possibilità di ridurre i costi eccessivi a carico del reparto, per esempio legati al periodo di degenza a seguito dell'intervento. Un'ottimizzazione in questo senso permette sicuramente di migliorare l'esperienza vissuta dal paziente, la quale può essere valutata mediante opportuni questionari, ma anche con gli indicatori 10, 13, 14, 15, 16. Si vuole sottolineare che l'applicazione delle metodologie per il miglioramento della qualità, come Lean e SixSigma non sono solo applicabili al blocco operatorio e al clinical pathway del paziente che deve eseguire un intervento chirurgico, ma a tutti i processi distinguibili nei tre gruppi definiti sopra. Per esempio gli articoli [39, 8, 56] si occupano di migliorare l'esperienza del paziente più in generale, o meglio, si occupano di aspetti dell'efficienza che coinvolgono maggiormente il paziente, come può essere la durata della degenza o il numero di volte in cui egli si deve recare nella struttura sia per gli accertamenti pre-operatori, sia per il post-operatorio.

L'obiettivo nell'aumento dell'efficienza è in ultimo quello di aggiungere più casi nella nota operatoria di una data specialità [5]. Dexter e Macario [20] hanno però concluso che il miglioramento nei tempi operatori non sia sufficiente di per sé a permettere casi extra, in quanto questa possibilità dipende dalla lunghezza degli interventi schedati nella giornata operatoria e dal loro numero. Procedure chirurgiche di piccola durata sono l'ideale per la parallelizzazione dei processi [M14]. Infatti, ridurre i tempi operatori su un gran numero di piccoli interventi permette a fine giornata di ottenere un risparmio tale da poterne inserire uno nuovo, al contrario se la giornata operatoria prevede pochi interventi di lunga durata, la riduzione dei tempi non operatori influirà sicuramente meno.

Ci sono diverse limitazioni quando si cercano le prove dell'efficacia di queste metodologie in quanto la letteratura è dominata da semplici osservazioni senza opportuna analisi statistica [36, 45]: ci sono alcune limitazioni nella valutazione dell'efficacia effettiva del cambiamento apportato nelle varie strutture. Spesso non è possibile stabilire una relazione causale tra ogni singolo intervento e i risultati ottenuti [30, 31] in quanto i dati a

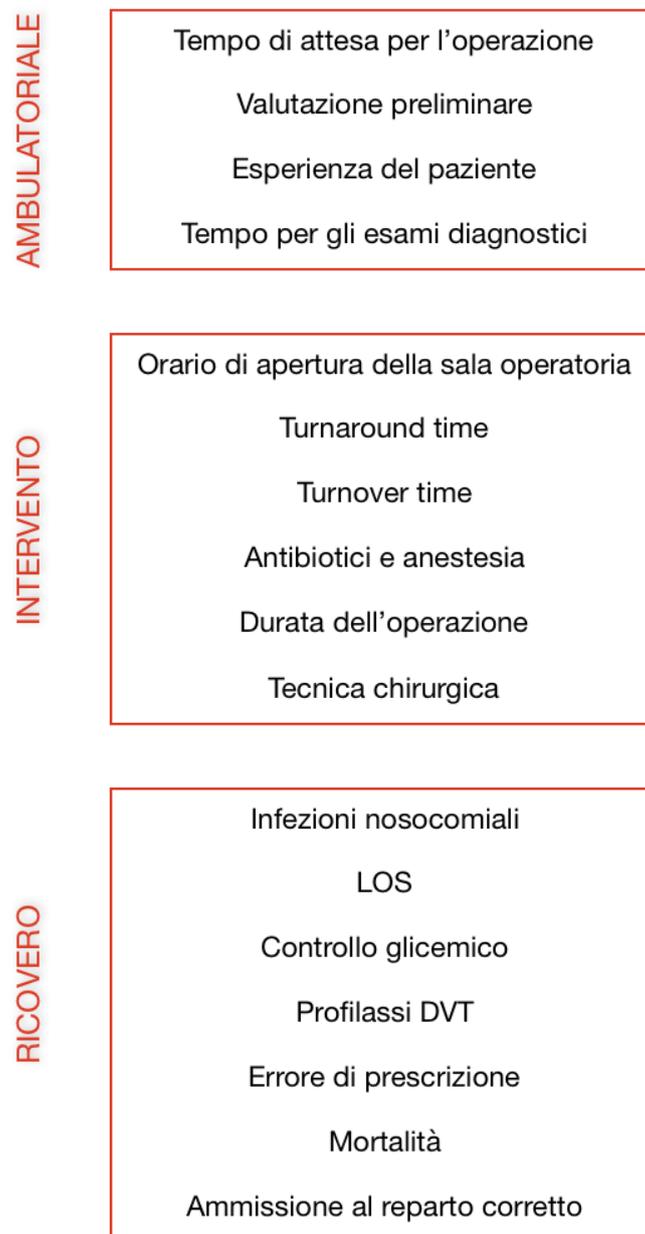


Figura 2.7: Esempi di parametri che si possono utilizzare per descrivere vari processi

disposizione sono poco accurati al punto che realizzare studi retrospettivi risulta complesso. Inoltre una prova dal design non accurato la rende vulnerabile rispetto all'effetto di Hawthorne [34, 18, 28, 38], cioè al cambiamento nel comportamento delle persone come conseguenza del sapere di essere osservati e valutati, cambiamento che quindi non può perdurare nel tempo. Inoltre non esistono linee guida per l'applicazione di questi metodi QI ai processi nel settore sanitario a causa del fatto che ogni realtà ospedaliera è differente e quindi ogni soluzione va adattata [30].

A conclusione, attraverso questi studi è sicuramente possibile comprendere quali siano le cause principali nei problemi di gestione del flusso di pazienti [54]:

- cattiva allocazione della capacità o sua carenza
- variabilità e incertezza
- mancanza di coordinamento tra le diverse unità operative (blocco operatorio, reparti, rianimazione e servizio di pre-ricovero)
- presenza di colli di bottiglia lungo l'intero percorso peri-operatorio che determinano ritardi

2.2 Il blocco operatorio di Ciriè

Il blocco operatorio del presidio ospedaliero di Ciriè si trova al primo piano della struttura. Assicura le prestazioni ambulatoriali e in regime di degenza delle branche mediche e chirurgiche delle seguenti specialità: Chirurgia Generale, Urologia, Ortopedia e Traumatologia, Ostetricia e Ginecologia, Oculistica, Otorinolaringoiatria, Endoscopia e Dialisi.

Il blocco operatorio è aperto sia per l'attività programmata che in regime di urgenza/emergenza dal Lunedì al Venerdì dalle ore 8:00 alle ore 16:30, grazie al personale in turno di servizio. Invece nelle ore notturne, nei giorni festivi e il Sabato viene eseguita solamente l'attività di urgenza/emergenza ed è garantita dal personale in pronta disponibilità.

Ci sono due figure di riferimento: il coordinatore del blocco operatorio e il responsabile di sala operatoria. Quest'ultimo sovrintende l'intero sistema per garantirne la qualità e gli standard.

2.2.1 Gli spazi

Con il termine "Blocco Operatorio" si intende l'insieme delle Sale Operatorie propriamente dette, nelle quali vengono eseguiti gli interventi chirurgici, dei locali e degli ambienti attigui che concorrono direttamente o indirettamente allo svolgimento dell'attività operatoria.

Oltre alle sale operatorie e alla sala risveglio, altri ambienti sono i depositi dei presidi chirurgici, dello strumentario e del materiale sporco, i locali di lavaggio e vestizione, i locali di sterilizzazione e di decontaminazione.

Sale operatorie Il blocco operatorio dell'ospedale di Ciriè possiede cinque sale operatorie funzionanti, nominate con le lettere da A a E, diverse per dimensioni e strumentazione. Sono usate prevalentemente dalle stesse discipline, ma non sono ad uso esclusivo delle stesse. La sala D è sempre assegnata a Ortopedia, o eventualmente lasciata per le emergenze, per questioni di sterilità (questi interventi richiedono una sala particolarmente pulita perché critici dal punto di vista delle infezioni). Invece

la sala A è lasciata per le urgenze oppure assegnata a Oculistica in quanto questa specialità richiede macchinari specifici e particolarmente costosi, che si preferisce non spostare. Le sale B, C, E sono invece uguali dal punto di vista della strumentazione e usate dalle restanti chirurgie; Urologia è solitamente in B, mentre Chirurgia Generale in E.

Sala risveglio Possiede sei postazioni, delle quali solitamente solo quattro vengono utilizzate. Al suo interno gli infermieri esercitano le funzioni di assistenza post-operatoria, quali il monitoraggio dei parametri vitali, la somministrazione dei farmaci e della terapia infusione, la sorveglianza dello stato di coscienza e la valutazione clinica globale del paziente neo-operato prima del suo ritorno nel reparto di degenza, previo consenso del medico anestesista. Oltre alla funzione esplicitata dal suo nome, il percorso paziente prevede che egli attenda qui prima dell'operazione chirurgica (presala). Altre attività sono l'inserimento di cannule centrali a pazienti in lungo degenza, solitamente anziani, per i quali risulta impossibile reperire ulteriori vene. Inoltre vengono eseguiti i blocchi periferici ai pazienti che devono eseguire interventi di Ortopedia in modo da ridurre il tempo inter-operatorio.

2.2.2 Le risorse

Tutte le risorse tecnologiche, materiali e strumentali presenti all'interno del Blocco Operatorio sono ad uso comune ad esclusione degli strumenti o apparecchiature ultra specialistiche dedicati a particolari tipologie chirurgiche. Questo influisce sulla pianificazione delle sedute operatorie delle varie specialità.

2.2.3 Il personale infermieristico

Ogni giorno delle cinque sale operatorie a disposizione, una è destinata alle emergenze, le altre quattro sono in funzione ognuna con un team al completo, fatta eccezione per una, nella quale manca l'anestesista. Il personale è tenuto ad arrivare almeno mezz'ora prima dell'inizio del primo intervento (ore 8:00) in modo da aprire le sale operatorie e preparare tutto il necessario.

Durante l'apertura programmata del Blocco Operatorio è sempre a disposizione un'équipe per le emergenze, i cui membri svolgono nell'arco della giornata altre mansioni. L'anestesista ha il ruolo di tutor, ossia di supporto ad altri medici in caso di necessità, e si occupa di inserire cannule centrali o eseguire blocchi periferici in Sala Risveglio. La nurse di anestesia si occupa del controllo delle scadenze del materiale e dà i cambi nelle sale operatorie per permettere alle colleghe di fare le pause. L'infermiera di sala aiuta nel trasporto dei pazienti e nella loro accoglienza al passa-malati e in ultimo l'infermiere strumentista si occupa della gestione della strumentazione in sterilizzazione o è di supporto alle colleghe in sala.

Per quanto concerne i turni del personale infermieristico la legge 61 prevede 11 ore di riposo tra due turni consecutivi e la durata del turno non può superare 12 ore e 50 minuti. Per questo motivo ci sono tre tipologie di turni, A, B, C riportati in tabella 2.2. La rotazione è organizzata come segue: iniziando dalla seduta lunga, l'équipe lavora fino alle 17:45, il giorno successivo diventa l'équipe delle urgenze, quindi lavora dalle 8:30 alle 14:00 e la sera stessa è reperibile, con orario 19:30-7:30. Per rispettare la Legge, il giorno successivo lavora il pomeriggio, per coprire eventuali urgenze dalle 14:00 alle 19:30. Dopodiché segue l'orario normale dalle 7:30 alle 15:42.

Tabella 2.2: Orari del personale infermieristico

A	7:30 - 15:42
B	14:00 - 19:30
C	7:30 - 17:45

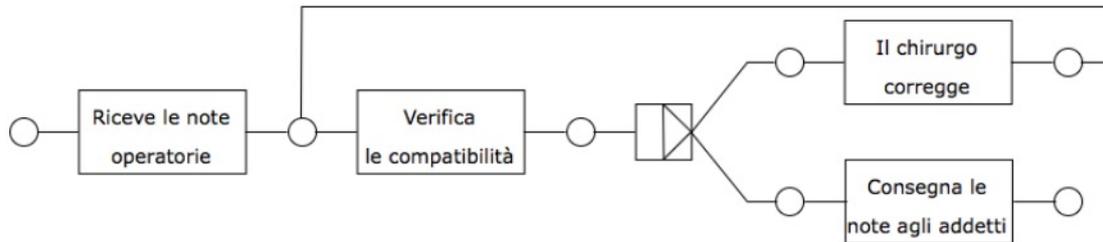


Figura 2.8: Flowchart per la valutazione delle sedute operatorie del giorno successivo

2.2.4 Il coordinatore del blocco operatorio

Questa figura nasce come diretta conseguenza delle riforme sanitarie che hanno portato alla costituzione delle Aziende Sanitarie, nelle quali l'assetto organizzativo impone ruoli determinati di gestione delle risorse e del personale. È un punto di collegamento essenziale tra necessità organizzative, esigenze cliniche e obiettivi aziendali, in quanto interagisce da un lato con le Direzioni Generale e Sanitaria e dall'altro con i colleghi che coordina.

Le sue responsabilità:

- coordinazione delle risorse umane infermieristiche e di supporto, dal punto di vista della pianificazione dei turni
- approvvigionamento del materiale (farmaci e apparecchi elettromedicali) in tempi e modi consoni all'attività e alle risorse economiche
- verifica del funzionamento delle risorse tecnologiche

Inoltre vigila sulla corretta applicazione delle procedure da parte di tutti gli operatori e, in caso di inosservanza, fa segnalazione a chi compete.

Il coordinatore ha infine tra i suoi compiti la valutazione delle note operatorie 2.8. Nel corso della mattina raccoglie le note operatorie del giorno successivo e verifica la loro compatibilità temporale in base alla disponibilità di personale, strumentazione e tecnologie. In caso di concomitanza di più interventi che richiedono le medesime risorse, richiede ai responsabili delle varie specialità di riprogrammare le liste oppure modificare la sequenza degli interventi. Successivamente consegna una copia di ogni lista operatoria agli infermieri addetti alle specifiche sale e alla sterilizzazione, in modo che possano controllare nel pomeriggio che tutto il materiale necessario il giorno successivo sia presente e funzionante.

2.2.5 Tipologie di ricovero

L'attività chirurgica si distingue in attività programmata e attività di urgenza.

Il ricovero programmato è per definizione non urgente e può essere proposto dal medico di famiglia, dal medico della guardia medica territoriale o da un medico specialista del Servizio Sanitario Nazionale. La proposta deve poi essere presentata al medico del reparto

di riferimento che, con una visita specialistica, valuta la reale necessità di ricovero. Se concorda, provvede a inserire il nome dell'assistito nell'apposito registro di prenotazione.

I ricoveri programmati possono essere di diverse tipologie:

- *Ricovero ordinario*: caratterizzato da più giornate. In questa categoria rientra il week surgery, caratterizzato da una degenza post-operatoria da due a cinque giorni
- *Day Hospital*: non prevede pernottamento e vengono eseguiti accertamenti diagnostici e terapie che non possono essere svolti in ambulatorio, in quanto richiedono assistenza medica e infermieristica protratta nella giornata
- *Day Surgery*: interventi chirurgici che non necessitano di osservazione post-operatoria superiore alle 12 ore. In casi particolari può essere prevista una notte di pernottamento, modello che si configura come One Day Surgery

Il ricovero in urgenza è un ricovero ordinario disposto dal medico del Pronto Soccorso, dopo la visita e un primo intervento che rivelano la necessità di cure tempestive in loco o di un trasferimento in altre strutture ospedaliere. In alternativa al ricovero urgente, l'utente può essere trattenuto in osservazione breve presso i Dipartimenti di Emergenza e Accettazione o di Pronto Soccorso, per accertamenti, trattamenti e monitoraggio per un tempo massimo di 36 ore, al termine del quale il medico può proporre il ricovero o le dimissioni.

2.3 Le figure dell'équipe operatoria

L'équipe operatoria comprende chirurghi, anestesisti, infermieri, operatori socio sanitari, tecnici e tutto il personale di Sala Operatoria coinvolto nell'attività chirurgica. Nel seguito sono descritte le principali figure che compongono il team.

2.3.1 Infermiere strumentista

In passato indicato come ferrista, l'infermiere strumentista è il professionista sanitario responsabile della corretta gestione di tutti i dispositivi e materiali utili ad un intervento chirurgico, con particolare importanza alla verifica e al mantenimento della sterilità. Partecipa attivamente all'operazione chirurgica collaborando con gli operatori, in particolare fornendo loro gli strumenti richiesti. La figura 2.9 mostra i suoi compiti durante un intervento chirurgico.

Essendo responsabile della strumentazione, tra i suoi compiti pre-operatori si annovera la preparazione degli allievi servitori, ossia dei tavoli sui quali è disposto tutto il materiale necessario all'intera seduta operatoria: ferri, garze, vari ed eventuali dispositivi¹. Ogni oggetto deve essere posizionato in modo ordinato e organizzato in modo da poter essere preso automaticamente.

Nella fase intra-operatoria si occupa di preparare il campo sterile, posizionando la teleria specifica dopo che il paziente è stato disinfettato e posizionato. Inoltre partecipa in modo attivo all'intervento anticipando o eseguendo le richieste del chirurgo e infine, si occupa della medicazione della ferita chirurgica.

Al termine dell'intervento deve smontare l'allievo servitore consegnando la strumentazione al servizio di sterilizzazione. Solitamente questo avviene allontanando il tavolo dal

¹I dispositivi possono essere reti e materiale protesico, lenti oculari, ciò che viene impiantato, suturatrici meccaniche, trocar. . .

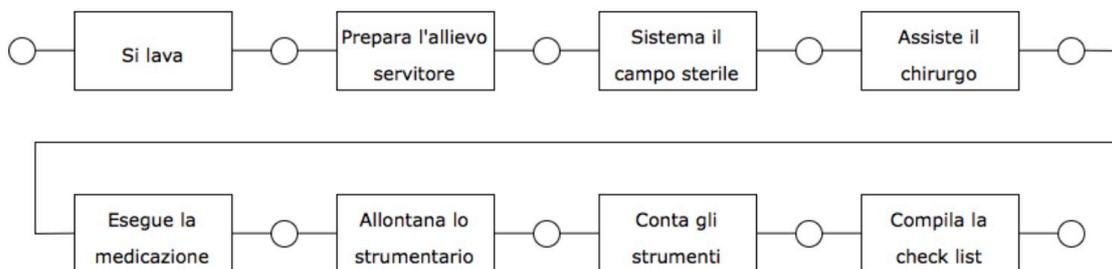


Figura 2.9: Workflow intervento chirurgico, attore: infermiere strumentista

campo operatorio e passando il materiale attraverso l'opportuna finestra ai locali di decontaminazione e detersione. In ortopedia, a causa della grande quantità di ferri utilizzati, si esce con l'allievo servitore.

È responsabile del controllo assoluto e preciso del turnover del materiale utilizzato, in particolare dei fili di sutura e delle garze che è usanza contare insieme all'infermiere di sala operatoria ogni volta che durante l'intervento si chiude una cavità in modo da non dimenticare nulla al suo interno. Questi controlli sono riportati nella check-list.

Il giorno prima si occupa di verificare che ci sia tutto per gli interventi del giorno successivo e il mattino stesso riconrolla. Infatti, dato che è prevista una rotazione del personale, non è detto che il giorno successivo lavori in sala operatoria la stessa persona che ha preparato l'occorrente il giorno precedente. Inquadrando la figura nell'intero processo, si osserva che normalmente entra in sala con il paziente. Tuttavia, può capitare entri prima o non esca affatto dall'intervento precedente perché la preparazione della strumentazione è particolarmente lunga o lei inesperta.

Il blocco operatorio è recentemente passato dall'organizzazione in team, dove ogni strumentista lavorava sempre nella stessa specialità (o due specialità), a una rotazione. Con questa scelta si perde qualcosa in termini di qualità perché ad ogni specialità corrispondono ferri e strumentazione differenti e se la strumentista non li conosce bene, allora ha tempi più lunghi per quanto riguarda la preparazione ed è meno reattiva nell'assistere il chirurgo (mancanza di abitudine e di automatismi). Per questo motivo i chirurghi fanno richiesta di strumentiste specifiche quando devono eseguire un intervento particolarmente delicato. Fa eccezione l'oculistica perché gli interventi sono altamente specialistici con macchinari appositi.

2.3.2 Nurse di anestesia

La nurse d'anestesia è un'infermiere ed affianca il medico anestesista per quanto concerne l'anestesia, dall'accoglienza del paziente in sala operatoria fino alla sua dimissione verso la sala risveglio. Durante l'intervento è responsabile della gestione del paziente narcotizzato, controlla i parametri vitali intra-operatori, riferendo all'anestesista eventuali scostamenti dai valori normali. Come si può osservare dal workflow 2.10, questa figura è responsabile di accompagnare il paziente dalla sala risveglio e alla sala operatoria di destinazione. Qui lo monitorizza, ossia gli applica tutti i dispositivi per il monitoraggio delle funzioni vitali e successivamente collabora con l'anestesista informandolo di eventuali allergie e fornendogli farmaci e strumenti necessari. Per questo motivo deve conoscere le varie tecniche anestesologiche ed il relativo materiale occorrente. Tra le sue responsabilità si annovera anche il posizionamento del paziente in base al tipo di intervento che verrà eseguito, solitamente in questa fase è assistito dall'infermiere di sala e per legge è necessaria anche la presenza dell'anestesista.

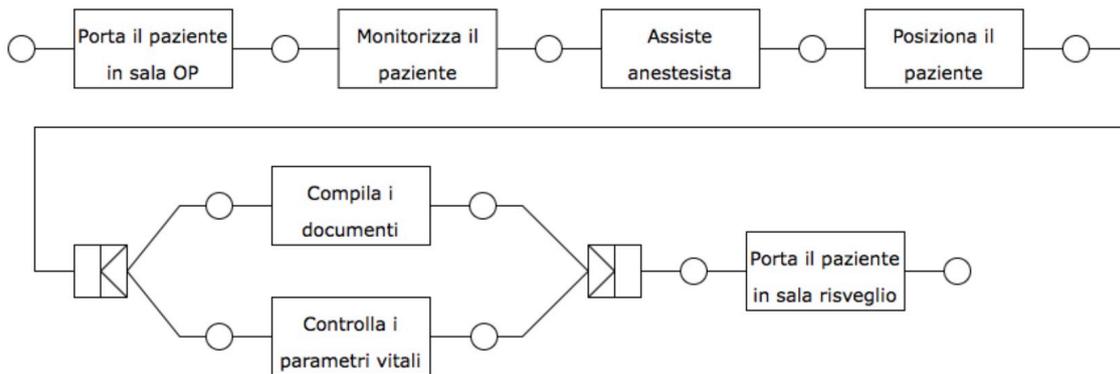


Figura 2.10: Workflow intervento chirurgico, attore: nurse di anestesia

Durante la fase intra-operatoria e post-operatoria, l'infermiere di anestesia si occupa della compilazione della check-list di tutto il materiale usato (pompe peristaltiche, sacche per il monitoraggio della pressione, unità di sangue presenti prima dell'intervento chirurgico...). Lui o l'anestesista redigono anche la scheda infermieristica, che contiene l'elenco di tutti i farmaci somministrati. Infine, tra i suoi compiti c'è il trasferimento del paziente dalla sala operatoria alla sala risveglio, dove sarà affidato ad un'altra nurse.

Quando c'è il cambio tra due pazienti, prepara il materiale (farmaci, filtro della maschera, garze e siringhe e tutti i dispositivi monouso) e lo ripone su carrelli di anestesia vicino al ventilatore.

Ulteriori compiti sono l'accensione del ventilatore e dei test iniziali che vengono eseguiti ogni mattina prima della prima seduta e quando due pazienti successivi sono un bambino e un adulto o viceversa (la circuiteria da utilizzare non è la stessa). Inoltre controlla che farmaci e materiali necessari per la giornata operatoria siano disponibili. Per inquadrare questa figura all'interno dell'intero processo si osserva che l'attività anestesilogica viene fatta contemporaneamente alla disinfezione della strumentista.

2.3.3 Infermiere di sala

Nella struttura ospedaliera di Ciriè il terzo in sala può essere un infermiere circolante o un operatore socio sanitario. Nei due casi i compiti svolti e le responsabilità che si possono assumere sono differenti, perché diversa è la loro formazione. Infatti, l'Operatore socio sanitario è una figura sanitaria di supporto che svolge funzioni tecnico-sanitarie sotto la supervisione diretta dell'infermiere. I suoi compiti sono principalmente di assistenza verso altre figure e in particolare dell'infermiere strumentista. Infatti, si può immaginare una barriera ideale tra parte sterile e non: dopo che l'infermiere strumentista ha eseguito il lavaggio chirurgico, non può più toccare nulla che non sia sterile, per cui viene aiutato ad aprire il materiale, ad allestire il campo operatorio e a conteggiare garze e taglienti. Al termine dell'intervento collabora per il disfaccimento del campo operatorio e per il successivo ripristino della sala. L'infermiere di sala collabora anche con la nurse di anestesia nella gestione del paziente, dall'accoglienza, al posizionamento, al post-operatorio.

In autonomia collega i cavi elettrici dei dispositivi medici e i tubi degli aspiratori e muove le lampade scialitiche secondo richiesta dei chirurghi. Inoltre è responsabile degli eventuali frammenti di tessuti prelevati per il successivo esame istologico: li mette in appositi barattoli in soluzione e appone su di essi etichette per il riconoscimento, fornite direttamente dal chirurgo. Il giorno successivo verrà ritirato dall'anatomia patologica.

2.3.4 Chirurgo

In base al tipo di intervento ci può essere due o più chirurghi, se le procedure sono particolarmente semplici, come il caso di interventi ambulatoriali, allora è uno solo. Il primo operatore definisce le modalità operative e procedurali.

Questo professionista non viene coinvolto nel set-up della sala, ma entra al momento di iniziare l'operazione ed esce subito dopo la sutura (e il conteggio dello strumentario) per stilare la nota operatoria. La preparazione del campo operatorio sarebbe competenza anche del chirurgo, ma nei casi più semplici è delegata alla sola infermiera strumentista.

2.3.5 Anestesista

Il Medico Anestesista è uno specialista in anestesia e rianimazione. È responsabile di indurre e mantenere l'anestesia nei pazienti sottoposti a intervento chirurgico, monitorandone i parametri vitali e gestendo in modo opportuno il dolore. Si occupa del paziente anche quando questi viene trasferito in sala risveglio ed è lui a decidere quando sia dimissibile dal blocco operatorio.

In Italia non è possibile che l'anestesista gestisca due sale contemporaneamente. Si tratta di un vincolo debole, quindi è possibile infrangerlo in casi di urgenza, con buon senso. L'importante è che in sala operatoria almeno uno tra nurse di anestesia e anestesista ci sia.

La sua influenza sul tempo che il paziente trascorre in sala operatoria è notevole quando l'anestesia è una narcosi perché deve dosare i farmaci in modo che il risveglio sia subito a seguito della sutura.

2.4 Il processo "intervento chirurgico"

In questa sezione si intende descrivere da un punto di vista qualitativo il processo "intervento chirurgico" in tutti i suoi aspetti e attività relative alla sala operatoria. Lo strumento utilizzato è lo swimlane.

Come si può osservare dalla figura 2.11, il paziente entra in sala operatoria accompagnato dalla nurse di anestesia e dall'infermiere di sala. L'adozione di tavoli operatori a piani trasferibili elimina la necessità di trasferire il paziente dalla barella al tavolo operatorio sia prima che dopo l'intervento, sveltendo quindi il tempo di occupazione della sala di quasi una decina di minuti. Dopo che il piano operatorio trasferibile è stato agganciato alla colonna portante, la nurse di anestesia monitorizza il paziente e, eventualmente aiutata dall'infermiera di sala, prepara il letto operatorio, montando le estensioni richieste dal particolare tipo di intervento. Successivamente i suoi compiti riguardano la preparazione di tutto il materiale occorrente all'anestesista. Eccezioni a questo flusso dipendono dal tipo di anestesia, al momento si sta descrivendo una narcosi, quindi l'anestesia vera e propria è l'ultimo step che viene eseguito prima che il tempo operatorio abbia inizio. Se invece si effettua un'anestesia periferica, come può essere un'epidurale, il paziente deve cambiare posizione, per cui viene effettuata questa e solo dopo sono agganciati tutti gli accessori necessari. Contemporaneamente l'infermiere strumentista, eseguito il lavaggio chirurgico, si occupa della preparazione dell'allievo servitore, insieme all'infermiera di sala.

Un volta che il team è pronto, i chirurghi lavati e l'induzione eseguita, ha inizio il tempo operatorio vero e proprio: posizionato e disinfettato il paziente, si prepara il campo operatorio, sistemando la teleria sterile, e gli operatori eseguono l'intervento.

Quando il chirurgo avvisa che l'operazione sta volgendo al termine, circa dieci minuti prima, la nurse di anestesia esce dalla sala operatoria per chiamare il reparto affinché trasferiscano al blocco operatorio il paziente successivo, che sarà accolto al passa-malati e portato in sala risveglio. In questa fase è importante la comunicazione tra chirurgo e anestesista in modo che quest'ultimo possa calcolare quando interrompere l'erogazione di farmaco per l'anestesia, in modo che il paziente si svegli subito dopo la sutura, ma al tempo stesso non inizi a muoversi prima. Infatti, i farmaci hanno un'emivita caratteristica e, senza l'adozione di quest'accorgimento, il paziente rimarrebbe addormentato ben oltre la durata dell'intervento, il tempo preciso dipenderebbe dalla sua corporatura e dal farmaco. Quando ci sono due o più chirurghi, in alcuni casi è il secondo operatore a concludere l'intervento, ossia a ricucire il paziente, mentre il primo chirurgo esce dalla sala e va a stilare l'atto operatorio.

Eseguita la sutura, i chirurghi si svestono ed escono dalla sala, mentre l'infermiere strumentista si occupa della medicazione e la nurse di anestesia insieme all'anestesista sveglia il paziente. Si tratta di una fase critica perché il paziente può essere molto agitato, nel qual caso anche l'infermiera di sala, che di norma aiuta l'infermiere strumentista, si adopera per bloccare il paziente.

Il personale riordina la stanza in modo che ritorni nelle condizioni di inizio e dopodiché nurse di anestesia e infermiere di sala portano il paziente in sala risveglio e prendono in carico il successivo. Contemporaneamente gli addetti alle pulizie, informati dalla semplice apertura della porta che da sul corridoio sporco, entrano e puliscono la sala.

2.4.1 Oculistica fa eccezione

Un paziente di oculistica segue un percorso all'interno del blocco operatorio differente da quello precedentemente descritto, grazie alla differente struttura della sala A. Infatti, quest'ultima è dotata di un passa-malati proprio, che permette al personale di far passare il paziente e accoglierlo direttamente nella presala afferente alla sala A. Proprio grazie a questa posizione è possibile per la nurse di anestesia seguirlo, mentre contemporaneamente controlla il paziente sotto intervento. Altra differenza riguardante il processo è l'esecuzione dell'anestesia, che avviene subito dopo il termine dell'intervento precedente nella pre-sala per lasciar il tempo al farmaco di agire.

2.4.2 Gli interventi ambulatoriali fanno eccezione

Gli interventi chirurgici in regime ambulatoriale sono piccoli interventi di breve durata che non richiedono un ricovero, ma la dimissione avviene nel giro di qualche ora. Essi prevedono l'anestesia locale, la quale non necessita della compresenza del medico anestesista, per cui vengono eseguiti nella sala che quel giorno non prevede il team al completo.

Dal punto di vista del processo, i tempi si allungano notevolmente in quanto attività parallele vengono ora eseguite in serie. Infatti, per eseguire l'anestesia si deve attendere che il chirurgo termini di stendere l'atto operatorio per l'intervento precedente.

2.5 Prime osservazioni e criticità

L'organizzazione del processo nel Blocco Operatorio in analisi è ottima nella sua essenza, non richiede alcuna modifica.

Come si può evincere dalla letteratura M3, M8, M9, M10 la riduzione dei tempi non operatori è ottenibile mediante due azioni principali: garantire il parallelismo delle

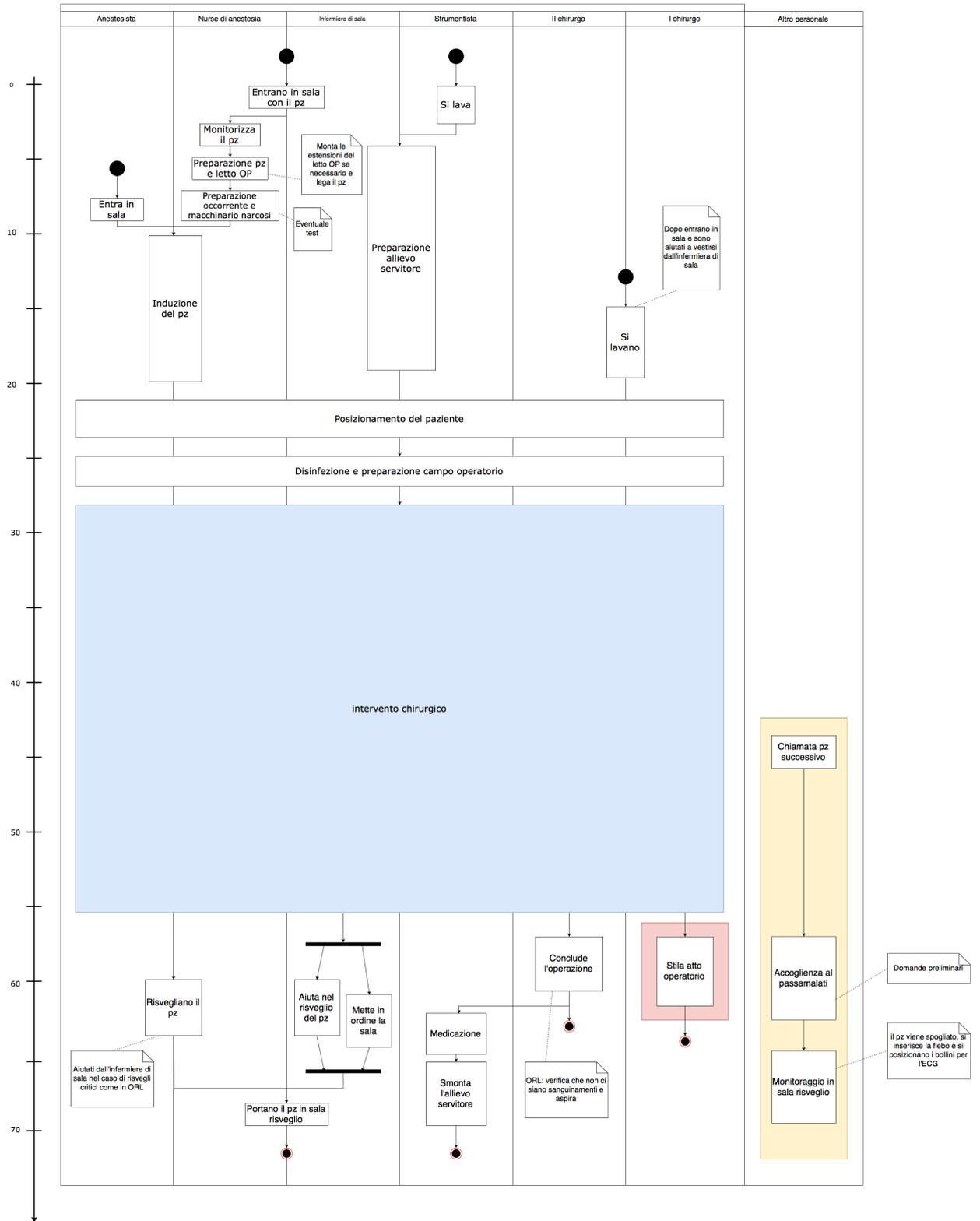


Figura 2.11: Swimlane intervento chirurgico con linea temporale. Durata delle attività media relative a una TURV

attività svolte da attori diversi e portare al di fuori della sala operatoria tutto ciò che non è essenziale svolgere al suo interno. Per quanto riguarda il primo punto, il diagramma mostra con estrema chiarezza come, nelle fasi pre-operatoria e post-operatoria, le diverse figure del team lavorino contemporaneamente ove possibile.

Nella fase pre-operatoria l'attività sicuramente più dispendiosa è la preparazione dell'allievo servitore da parte dell'infermiera strumentista. La sua durata dipende dalla strumentazione richiesta dal particolare tipo di intervento e dall'esperienza della persona che la esplica. Spesso, sempre con un obiettivo di maggior efficienza, quest'attività ha inizio durante il post-operatorio del paziente precedente con il risultato che la figura non esce dalla Sala Operatoria. L'attività di preparazione del campo operatorio sancisce il termine della fase pre-operatoria ed è il momento nel quale tutti gli elementi del team hanno terminato i loro compiti relativi a questa fase, sincronizzandosi per lavorare insieme. Anche il posizionamento del paziente coinvolge diverse figure, anche se non per un atto pratico, svolto unicamente dagli operatori non sterili, ma per un momento di discussione su come sia meglio procedere. Durante questa fase si indica come area di inefficienza la mancanza di comunicazione: i chirurghi idealmente dovrebbero essere pronti quando l'induzione è terminata e il materiale preparato, ma non sono avvisati quindi entrano più volte a controllare a che punto è il set-up, causando stress nel team, oppure arrivano in ritardo.

Al termine dell'intervento chirurgico l'insieme delle attività che compongono il momento post-operatorio mirano a: riportare il paziente a uno stato di coscienza in modo da poterlo trasportare in sala risveglio in condizioni di sicurezza, riordinare la sala in modo che essa assuma le condizioni iniziali, cioè sia pronta per accogliere il candidato successivo. Le pulizie sono compito di una ditta esterna e a seconda del tipo di intervento, se sporco o pulito, hanno un tempo variabile, dai cinque minuti al quarto d'ora o più.

Come detto sopra, il secondo modo per rendere più efficiente il processo è quello di svolgere al di fuori della sala operatoria tutte le attività che lo consentono. Nel paragrafo sull'analisi bibliografica si è descritto come spesso i ricercatori, durante il process redesign, decidano di costruire sale secondarie di risveglio e induzione; solo la prima è presente all'interno del presidio ospedaliero di Ciriè in quanto il processo non prevede di eseguire alcun tipo di anestesia, fatta eccezione per i blocchi centrali, all'esterno della Sala Operatoria. I pareri tra il personale sono contrastanti: coloro che sono contrari adducono ragioni di sicurezza e di responsabilità, in quanto preferiscono seguire il proprio paziente in toto.

Un eventuale collo di bottiglia potrebbero essere le postazioni PC perché sono in numero inferiore rispetto alle sale operatorie: nel caso in cui le sedute di più sale finissero contemporaneamente, si verificherebbe un ritardo dovuto al fatto che non tutti i chirurghi potrebbero stilare l'atto operatorio.

In mancanza di qualche elemento del personale infermieristico, la situazione diventa critica in quanto l'infermiera addetta alla Sala Risveglio non può accogliere il paziente al passa-malati senza lasciare la sua postazione, cosa non ammissibile perché i pazienti sotto la sua responsabilità non sarebbero più monitorati.

2.6 Scostamenti dall'idealità

Dopo aver modellizzato il processo "intervento chirurgico" ideale, occorre capire quanto e perché ci si discosti da questo. La strategia adottata prevede di ricavare, a partire dai dati a disposizione, il tempo di esecuzione di alcune attività interne al processo in serie tra loro, la cui somma è la durata dell'operazione. Raggruppando questi intervalli temporali

in modo opportuno, è possibile determinare i tempi di esecuzione media e deviazione standard di ogni step per ogni tipologia di intervento. Infine, per ogni nota operatoria si confronta il tempo impiegato a completarla e il tempo che si sarebbe dovuto impiegare se la giornata fosse stata eseguita secondo il flusso ideale.

I dati sono raccolti in formato cartaceo con la compilazione di una scheda, che è il risultato del lavoro dei coordinatori infermieristici dei diversi blocchi operatori interni all'ASL TO4 (fig. 2.13). Per ogni intervento della giornata, cui corrisponde una riga della tabella, viene richiesto al personale di sala di inserire gli orari di: accettazione, preparazione anti-sala, ingresso sala, inizio anestesia, fine anestesia, incisione, sutura, risveglio e uscita dalla sala. La preparazione anti-sala riguarda un'attività relativa a un'organizzazione del processo differente e superata, per cui la casella corrispondente dovrebbe essere vuota. Il tempo di risveglio del paziente si riferisce invece al momento in cui il paziente si sveglia e riprende coscienza dopo aver subito un'anestesia di tipo narcosi. Si osserva una scarsa accuratezza nella compilazione della scheda per motivi diversi. Oltre alla grande quantità di missing, i dati sono approssimati a causa del fatto che gli orologi all'interno della sala non indicano l'ora corretta, il personale tende a arrotondare o in casi peggiori va a ricordo perché non ha avuto tempo di completare la scheda in un momento precedente. Si sottolinea però che i tempi chirurgici, incisione e sutura, fanno eccezione e sono affidabili. Diverse sono le interpretazioni che le infermiere danno dei campi da inserire e non c'è uniformità; per esempio nelle anestesi locali, per le quali si potrebbe indicare solamente il tempo di inizio, possono capitare i casi di "fine anestesia" barrata, contiene lo stesso orario "inizio anestesia" o suppone un tempo fittizio di cinque minuti. Dopo che i dati sono stati opportunamente elaborati, correggendo gli errori o eventualmente scartandoli, si procede con l'estrapolazione di alcuni intervalli temporali. Per la loro definizione ci si è affidati all'articolo [45], che è in accordo con l'American Association of Clinical Director (AACD) Procedural Time Glossary. Sono riportati in tabella 2.3 e in figura 2.12. I vari intervalli temporali sono stati estrapolati considerando il processo "intervento chirurgico" dal punto di vista della sala operatoria, in quanto manca il tempo trascorso in sala risveglio per essere dal punto di vista del paziente. Avendo osservato che quest'attività non costituisce un collo di bottiglia, la si trascura. Guardando lo swimlane, si costruiscono tre macro-intervalli temporali: il tempo pre-operatorio, che termina quando la strumentista ha finito di preparare il necessario, il tempo operatorio, ossia l'atto chirurgico vero e proprio e il post operatorio, ossia da quando il primo chirurgo ha finito a quando il paziente esce dalla sala. Questi tre tempi sono stati stimati per ogni intervento chirurgico per ogni specialità e quindi la loro somma dà la durata tipo di ogni intervento. La stima è ottenuta raggruppandoli per tipo di intervento e calcolando media e deviazione standard.

È quindi possibile calcolare la durata che avrebbe dovuto avere ogni nota operatoria di ogni specialità nei mesi considerati e successivamente calcolare per ognuna lo scostamento tra il tempo effettivamente impiegato e il tempo che si sarebbe dovuto impiegare. Quest'analisi non è stata eseguita per chirurgia generale e ortopedia per mancanza di dati a disposizione. Infatti, essendo specialità più articolate, hanno un maggior numero di tipi di intervento e lo stesso intervento potrebbe avere durate anche molto diverse. Le figure 2.14 e 2.15 riportano per ogni specialità la frequenza con la quale un certo valore percentuale di scostamento si verifica. Sono stati realizzati due gruppi di istogrammi: nel primo si considerano gli scostamenti assoluti, in positivo e in negativo, il secondo invece fa riferimento ai soli giorni in cui si è verificato ritardo. La specialità di ginecologia (2.14a, 2.15a) su un totale di 25 giorni analizzati solo uno risulta essere superiore al 60%, una sorta di outlier nell'andamento che è dovuto all'inserimento nell'agenda di un taglio cesareo

Tabella 2.3: Definizione degli intervalli temporali per le varie macro-attività che compongono un intervento chirurgico

Nome	Formula
attesa in sala risveglio	ingresso sala - accettazione
preparazione in sala OP	inizio anestesia - ingresso sala
anestesia	fine anestesia - inizio anestesia
preparazione campo operatorio	incisione - fine anestesia
intervento chirurgico	sutura - incisione
risveglio	risveglio - sutura
uscita sala	uscita sala - risveglio



Figura 2.12: Intervalli temporali per le varie attività e individuazione della fase pre-operatoria, operatoria e post-operatoria

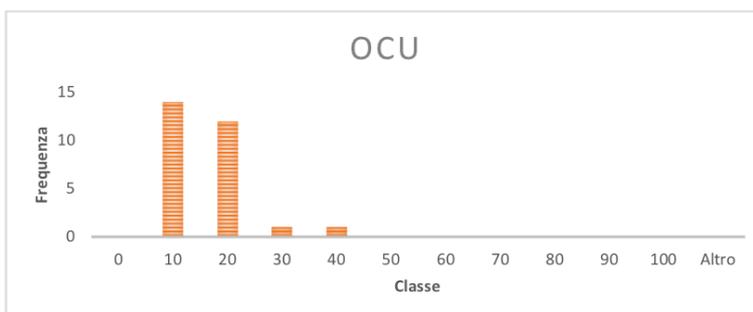
di urgenza. Le specialità di oculistica e otorinolaringoiatria hanno un andamento ottimo in quanto gli scostamenti inferiori al 20% sono più del 90%. Nel caso di oculistica (2.14b, 2.15b) si hanno 28 esempi a disposizione dei quali due hanno scostamenti superiori al 30%, che, se analizzati in modo più approfondito sono dovuti a tempi pre-chirurgici molto lunghi, probabilmente dovuti allo strumentario. Invece per otorinolaringoiatria 2.14c, 2.15c) su 25 casi si ha un outlier, ossia un'anormalità dovuta al fatto che si il paziente è stato portato in ritardo dal blocco operatorio. Analizzando gli scostamenti superiori al 20%, si sono quindi rilevate le seguenti cause:

- il paziente arriva tardi dal reparto
- la durata dell'intervento è più lunga di quanto previsto
- set-up della sala particolarmente lungo

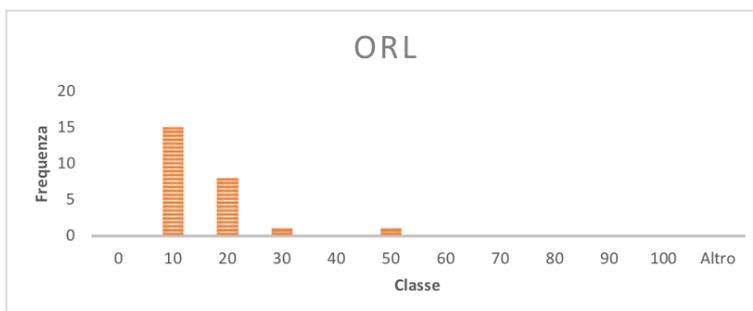
Urologia (2.14d, 2.15d) fa eccezione: gli scostamenti superiori al 20% si verificano in circa la metà dei casi e la causa è da imputare alle giornate di interventi ambulatoriali.



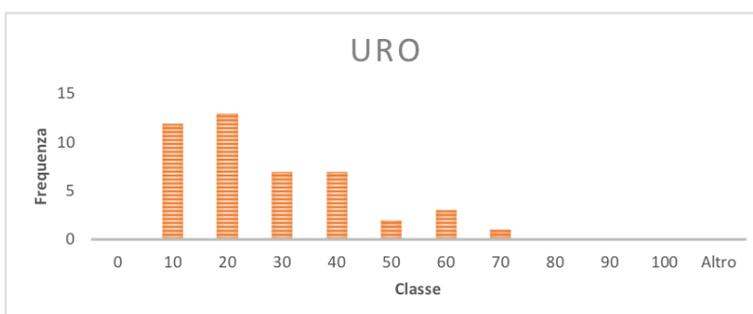
(a)



(b)



(c)

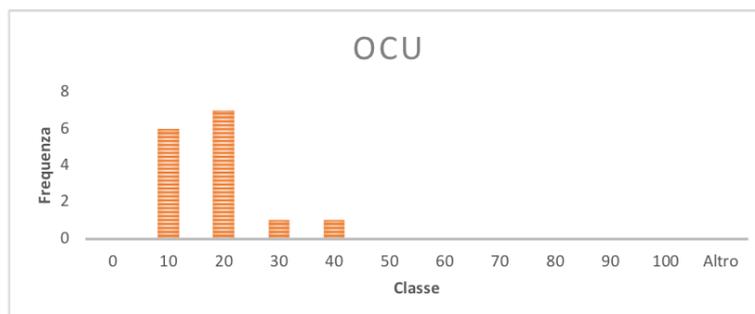


(d)

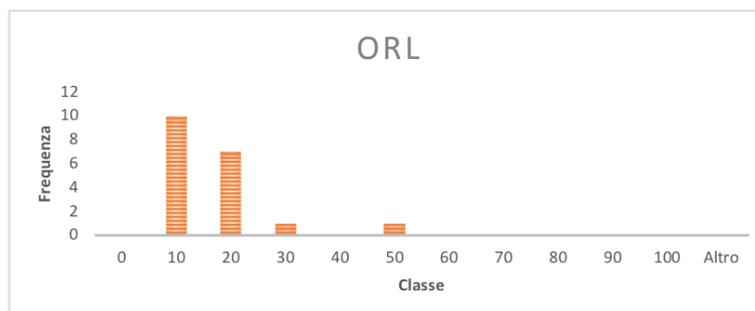
Figura 2.14: Istogramma percentuali di scostamento assoluto per i vari interventi analizzati, suddivisione secondo specialità



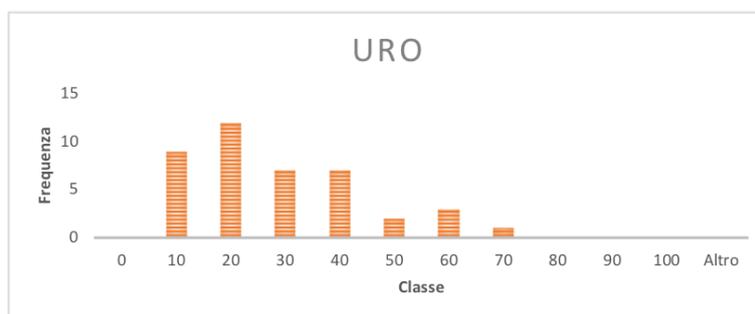
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2.15: Istogramma percentuali di scostamento negativo per i vari interventi analizzati, suddivisione secondo specialità

Tabella 2.4: Per ogni specialità percentuale di giorni nei quali la seduta inizia entro il periodo di tolleranza definito

First case start-time

	Tolleranza		
	5 min	10 min	15 min
GIN	65 %	100 %	100 %
URO	42 %	87 %	91 %
OCU	23 %	69 %	85 %
ORL	44 %	89 %	96 %
CH	38 %	65 %	86 %
ORT	37 %	69 %	85 %

Tabella 2.5: Per ogni specialità percentuale di casi in cui il turnover è entro il periodo di tolleranza definito. Tempi medi di turnover time per ogni specialità

Turnover time

	Tolleranza			Media
	5 min	10 min	20 min	
GIN	53 %	87 %	98 %	7 min
URO	35 %	65 %	89 %	8 min
OCU	65 %	91 %	99 %	5 min
ORL	60 %	91 %	99 %	5 min
CH	29 %	68 %	86 %	12 min
ORT	16 %	40 %	61 %	17 min

- numero di casi sotto soglia: si è calcolata la differenza tra l'orario di ingresso sala di un paziente e di uscita del precedente per tutti gli interventi non in prima posizione per tutte le sedute operatorie e si è contato quanti di questi fossero sotto una certa soglia impostata.

I risultati, riportati in tabella 2.5 mostrano che oculistica e otorinolaringoiatria hanno tempi di turnover che si avvicinano maggiormente all'idealità, in quanto dura circa cinque minuti, le altre specialità invece sono intorno alla decina di minuti e confermano l'analisi degli scostamenti. Chirurgia generale ha un tempo spesso più lungo delle altre (il 90% dei casi dura circa una decina di minuti) perché gli interventi di questa specialità sono più invasivi e sporchi, quindi richiedono un tempo per la pulizia della sala maggiore. Lo stesso vale per ortopedia.

L'indicatore *over-run hours* corrisponde alla percentuale di giorni nei quali le sedute hanno oltrepassato il tempo di sala loro destinato. Più in generale si potrebbe parlare di *off-hours surgery*, tenendo conto anche dei casi in cui sono state inserite delle urgenze,

Tabella 2.6: Per ogni specialità percentuale di giorni nei quali la durata della seduta sfora oltre il periodo di tolleranza definito

Over-run hours			
Tolleranza			
	10 min	20 min	50 min
GIN	27 %	27 %	15 %
URO	20 %	11 %	4 %
OCU	22 %	19 %	0 %
ORL	54 %	25 %	14 %
CH	21 %	38 %	65 %
ORT	-	-	-

ma dato che le due situazioni richiedono soluzioni di tipo diverso e che l'analisi delle urgenze esula dallo scopo, si preferisce considerare solo gli straordinari. Occorre dare un intervallo di tolleranza in modo da assicurarsi rispetto all'incertezza legata alla durata prevista per l'intervento e alla componente umana. A partire dai dati a disposizione per ogni seduta giornaliera si è considerato l'orario di uscita dalla sala dell'ultimo intervento previsto e si è contato il numero di giorni nei quali questo valore fosse sopra l'intervallo di tolleranza dato. La tabella 2.6 riporta i valori di over-run hours con tolleranze diverse: 10, 20 e 50 minuti. Si può osservare che tutte le specialità mostrano risultati simili tra loro, ad eccezione di chirurgia generale. Una percentuale superiore al 50% può essere indice di ritardi notevoli e sprechi nell'esecuzione del processo, ma più probabilmente è dovuta ad una schedulazione non ottimale, che tende a inserire nella nota operatoria più interventi di quanti possano essere effettivamente eseguiti nel tempo a lei destinato. Questa ipotesi è ulteriormente confermata se si pensa che i casi in cui il ritardo è uguale o superiore ai 100 minuti sono ancora il 10% del totale di giorni considerato. Un altro parametro che può essere calcolato è complementare, ossia la percentuale di giorni in cui le note operatorie delle varie specialità non hanno coperto tutto il tempo loro concesso: *under-run hours*. La ragione dietro una situazione di questo tipo è essenzialmente legata nuovamente a una non buona schedulazione. I risultati sono presentati in tabella 2.7 e tra le specialità spicca oculistica: nel 67% dei giorni valutati la seduta operatoria termina almeno 30 minuti prima e nel 44% termina almeno 50 minuti prima, tempo sufficiente per esempio per inserire un'altra operazione di cataratta.

2.8 Opzioni migliorative

Nel complesso questi indicatori mostrano una buona organizzazione della Sala Operatoria, ad eccezione di un caso: avere una sala usata solo per gli interventi ambulatoriali. La soluzione migliore consisterebbe nell'assumere un medico-anestesista in modo da eliminare le giornate di interventi ambulatoriali e di conseguenza aumentare l'efficienza. Infatti, questi interventi, essendo molto brevi, potrebbero essere facilmente inseriti nelle note operatorie di altre giornate. Se l'assunzione di personale non è possibile, si potrebbe compensare in parte questa situazione riorganizzando il processo operatorio: far eseguire

Tabella 2.7: Per ogni specialità percentuale di giorni nei quali si terminano le operazioni pianificate prima della tolleranza definita

	Under-run hours		
	Tolleranza		
	10 min	30 min	50 min
GIN	46 %	31 %	23 %
URO	50 %	46 %	33 %
OCU	67 %	67 %	44 %
ORL	22 %	11 %	11 %
CH	33 %	22 %	22 %
ORT	-	-	-

l'anestesia locale al tutor in Sala Risveglio permetterebbe di risparmiare almeno una decina di minuti ad ogni intervento [M10, M14]. Entrambi gli autori affermano inoltre che una nota operatoria con solo interventi minori può beneficiare maggiormente di questa parallelizzazione perché permetterebbe di aggiungere sedute. Al contrario gli interventi lunghi, non consentirebbero di aggiungere un caso.

Sia il turnover time, sia il first case start-time sono legati al funzionamento dei reparti chirurgici, perché ritardi nelle partenze degli interventi successivi sono essenzialmente legati a ritardi nell'arrivo del paziente al blocco operatorio. Miglioramenti possibili richiedono tutti un miglioramento nella comunicazione, infatti, sono relativi al chiamare prima il paziente dal reparto. Soprattutto per quanto riguarda il primo intervento della mattina occorre assicurarsi di minimizzare il ritardo del paziente nel presentarsi per il ricovero: una conferma telefonica dell'ora del caso e dell'orario di arrivo richiesto il giorno prima possono essere un prezioso promemoria, soprattutto per i pazienti anziani. Allo stesso modo, sempre mediante chiamata telefonica, è importante assicurarsi che i candidati all'intervento eseguano in modo corretto la preparazione all'intervento, dal cibo ai farmaci da assumere. All'arrivo nel reparto per il ricovero la conferma automatica dei dati (possibile con un sistema informatizzato) e un flusso che limiti le attese può minimizzare ritardi e frustrazione dei pazienti.

L'informatizzazione potrebbe venire in aiuto nella risoluzione di problematiche relative alla mancanza di comunicazione [18, 26]. Per esempio l'ospedale di Desio introdotto un nuovo modulo di gestione delle sale operatorie che permette di vedere in tempo reale il percorso del paziente chirurgico. In questo modo "Tutti gli operatori interessati, mediante l'utilizzo di appositi sistemi di alert, possono attivare in modo coordinato le azioni correttive così da ridurre le criticità, prevalentemente generate da problemi di comunicazione, e migliorare gli indicatori di performance dell'attività chirurgica" [3]. Il futuro sarà la tracciabilità automatica dei passaggi di ingresso e uscita del paziente dalla sala e dal blocco operatorio. Ci sarebbero vantaggi sia per gli elementi del team chirurgico, ad esempio anestesia e chirurgo saprebbero in quale momento entrare in Sala [18], ma anche a livello dei Reparti.

Infine gli indicatori che riguardano l'utilizzo delle Sale Operatorie suggeriscono la necessità di una migliore pianificazione delle note operatorie. Questo può essere ottenuto

mediante l'utilizzo di software automatici, come si vedrà nella sezione successiva.

L'esperienza e lo studio formale convalidano la necessità di una gestione agile delle sale per consentire una continua rivalutazione e l'adeguamento della situazione alla programmazione minuto per minuto. Per questo occorre una persona esperta che controlli il flusso di casi ritardati o prolungati e le emergenze [44]. Gli autori Kimbrough et al. [30] identificano questa figura nella caposala, assegnandole compiti di gestione della pianificazione giornaliera della sala operatoria e di incentivazione a iniziative di qualità. Il policlinico di Tor Vergata ha istituito la "cabina di regia", ossia un team composto da tre unità del personale infermieristico o amministrativo, che ha un ruolo di supervisione [25]. I compiti di questo organo sono relativi alla gestione ottimale del blocco operatorio dal punto di vista della sua programmazione e suo monitoraggio. Essendo a un livello più alto nella gerarchia, ad esso riferiscono varie figure, quali i referenti per il coordinamento infermieristico, per il governo clinico delle sale e delle urgenze, per la programmazione della sala operatoria, per lo strumentario e la sterilizzazione, per la strumentazione elettromedicale... Ha così tutta una serie di informazioni di prima mano e aggiornate che gli permettono di avere sempre sotto controllo la situazione e di poter agire di conseguenza, mantenendo informate tutte le figure coinvolte. Per quanto riguarda le sedute operatorie, da un lato aiuta nella stesura della programmazione settimanale accordandosi con il servizio di pre-ospedalizzazione e verificando la necessità di eventuali modifiche, dall'altro lavora in real time, nella gestione minuto per minuto facilitando la comunicazione e lo scambio di informazioni tra tutte le figure coinvolte, per esempio quando ci sono cambiamenti dell'ultimo minuto dovuti all'inserimento di urgenze, piuttosto che per la mancanza di risorse. In pratica segue tutte le fasi dell'attività di programmazione a partire dall'assegnazione delle ore di sala operatoria alle varie specialità, passando per la scelta degli interventi, a eventuali cambiamenti online.

2.9 I reparti chirurgici

Nel seguito verrà descritto il percorso del paziente il giorno dell'intervento dal reparto alla dimissione dal blocco operatorio, che è stato modellizzato mediante swimlane (figura 2.16). Si è osservato il reparto di ginecologia, le altre specialità hanno un'organizzazione pressoché identica, anche se la preparazione del paziente può constare di fasi differenti perché dipende dalla tipologia di intervento cui sarà sottoposto.

Nella sala infermieri dei reparti chirurgici è appesa la nota operatoria del giorno in modo che il personale sia a conoscenza dei candidati all'intervento e possa provvedere per tempo a far indossare loro le calze, inserire il catetere o la flebo, se necessari, e somministrare alcune gocce di calmanti (circa un'ora prima). Inoltre in questo momento inizia la compilazione della scheda preoperatoria: in essa, oltre a indicare il reparto chirurgico e il suo responsabile, il tipo di ricovero e la data, vengono raccolti vari dati anagrafici e segnati tipologia e lato dell'intervento, dopo aver verificato che il sito chirurgico sia stato marcato in modo opportuno.

Quando dalla sala operatoria il chirurgo informa che è possibile chiamare il paziente successivo, circa dieci o quindici minuti prima del termine dell'intervento in corso, viene informato il reparto e un operatore socio sanitario, destinato ai trasporti, si dirige lì. Questa figura non può essere responsabile del paziente, per cui per trasportare quest'ultimo al blocco operatorio è necessario anche un infermiere di reparto.

Il passamalati è un dispositivo che permette l'accesso del paziente al blocco operatorio in modo gradevole e poco traumatico mantenendo l'asepsi del reparto. In questa sede l'infermiere esegue la procedura di verifica per la presa in carico del paziente: gli pone

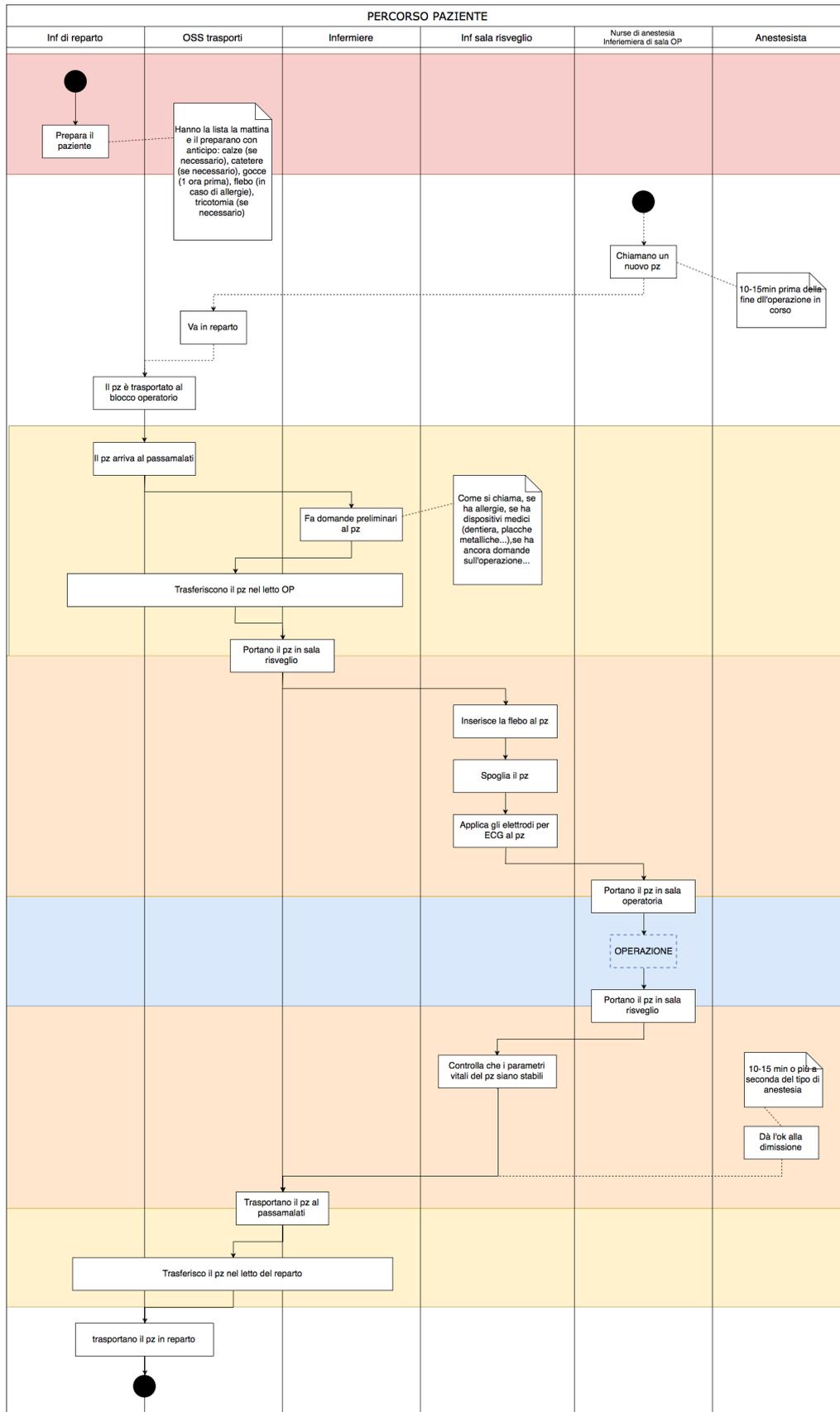


Figura 2.16: Swimlane del processo peri-operatorio, dalla preparazione in reparto alla dimissione dal blocco operatorio, al termine dell'intervento chirurgico

alcune domande per accertarsi che corrisponda alla persona indicata nella cartella e che la tipologia di intervento sia effettivamente quella segnata nel programma operatorio, inoltre verifica la presenza di accessori, monili, oggetti metallici o protesi mobili. Questa fase richiede quasi una decina di minuti.

Insieme all'operatore addetto ai trasporti, il paziente viene trasferito in sala risveglio, dove attenderà l'intervento. Qui l'infermiere responsabile si occupa di inserirgli la flebo, spogliarlo e applicargli gli elettrodi per l'elettrocardiogramma. Sempre questa figura sarà responsabile di tenere sotto controllo i suoi parametri vitali a seguito dell'operazione fino a che il medico anestesista non darà il consenso alla dimissione. A questo punto si richiamerà il reparto affinché lo vengano a prendere, solitamente si attende che ci sia anche la chiamata per portare un nuovo paziente in modo da ottimizzare gli spostamenti.

Una quantità di tempo considerevole viene spesa per gli spostamenti dal reparto al blocco operatorio e ritardi nell'arrivo si ripercuotono su tutta la nota operatoria, la quale ha termine così oltre l'orario di normale utilizzo. A seconda della posizione del dipartimento chirurgico, i tempi sono variabili: la maggior parte delle specialità sono sullo stesso piano e quindi si impiega almeno decina di minuti, invece i tempi raddoppiano con l'attesa dell'ascensore. Le cause dei ritardi sono imputabili alla mancata disponibilità di infermiere a livello di reparto e di personale di trasporto, che quindi non possono rispondere prontamente alla chiamata. Anticipare semplicemente la chiamata può essere una soluzione.

Posti letto

Un collo di bottiglia che può esserci a livello di reparto è la mancanza di posti letto. Ad oggi non c'è una schedulazione automatica che tenga conto di questo vincolo, ma la scelta dei pazienti da inserire nella nota operatoria viene fatta con buon senso: in caso i posti letto scarseggino, si preferiranno un numero minore di interventi più lunghi, rispetto a molto interventi brevi. Inoltre, essendo un presidio piccolo, la comunicazione tra le varie specialità è buona e le strutture sono vicine, quindi in caso di necessità, i pazienti possono essere ricoverati in altri reparti. Più complesso è il caso di posti letto nella Rianimazione. Se un certo tipo di intervento richiede un posto in rianimazione, prima della sua pianificazione occorre accertarsi della sua disponibilità e prenotarlo. Il reparto si impegna a lasciarlo libero, ma ovviamente, in caso di emergenze, queste ultime avranno la priorità. Si conclude che interventi di questo tipo possono saltare anche il giorno prima.

2.10 Analisi del pre-ricovero

Il prericovero consiste in un insieme di analisi e indagini cliniche volte a stabilire l'idoneità del paziente all'intervento. Solitamente ogni reparto ha il proprio servizio di pre-ricovero, ma l'evoluzione delle organizzazioni sta portando verso una centralizzazione in un dipartimento dedicato. In ogni caso solitamente le strutture scelgono di far recare i pazienti nella struttura un unico giorno per il completamento di tutte le attività:

- compilazione della cartella clinica
- esami e analisi: esami ematochimici, elettrocardiogramma ed eventuali altri
- visita con il medico anestesista per la valutazione delle condizioni del paziente per definire il rischio clinico, se sia possibile sottoporlo ad anestesia e nel caso a quale tipo

- spiegazione del tipo di intervento e firma del modulo di consenso informato
- spiegazione sulla preparazione che il paziente deve seguire per l'intervento

Il presidio ospedaliero di Ciriè è l'unica struttura tra quelle presenti all'interno dell'ASL TO-4 a prevedere un pre-ricovero centralizzato, ossia al quale afferiscono tutti i reparti chirurgici per il completamento di tutti gli step e la documentazione necessaria prima di sottoporsi a un intervento chirurgico. Questa differenza è legata al fatto che la struttura in analisi prevedeva quest'organizzazione fin dal 2003, dopo l'accorpamento con il presidio di Lanzo, quindi prima dell'accorpamento TO4.

Questo servizio accoglie in media dieci o dodici pazienti al giorno. In linea di principio si cerca sempre di riempire tutti i posti che si hanno a disposizione per le varie specialità, piuttosto chiamando pazienti di altre divisioni chirurgiche, nel momento in cui i medici di queste ultime danno la disponibilità per stilare la cartella clinica. In questo modo si anticipano gli interventi chirurgici con priorità A. Restano nei buchi nella pianificazione giornaliera nel momento in cui i pazienti non si presentano all'appuntamento la mattina stessa, evento che occorre con una frequenza di 4-5 pazienti a settimana. Può succedere che disdicano il giorno prima, nel qual caso però si cerca di compensare come descritto.

Il servizio di pre-ricovero è utilizzato unicamente dai pazienti per i quali è previsto un intervento in elezione, ossia programmato a seguito di una visita specialistica, che può essere eseguita da un privato oppure da un medico che lavora negli ambulatori dell'ospedale. Coloro che invece arrivano al pronto soccorso di solito hanno un'urgenza diversa, per cui la fase del pre-ricovero viene saltata e gli esami sono fatti direttamente lì o in reparto. Può esserci il caso di un'elezione che arriva dal pronto soccorso: si tratta di pazienti che necessitano di un'operazione, ma possono essere messi in lista dopo essere stati opportunamente trattati per stabilizzare la situazione.

I pazienti che necessitano del servizio di pre-ricovero sono suddivisi tra Ciriè e Lanzo; in quest'ultimo vengono dirottati i casi nei quali non serve la cartella clinica. Il luogo in cui si svolgono le indagini diagnostiche non determina dove si eseguirà l'intervento; infatti, i pazienti sono mandati a Ciriè o Lanzo sulla base del rischio anestesilogico (soglia discriminatoria ASA pari a 3) a causa della mancanza di una rianimazione nella seconda. Spesso gli anestesisti, per questioni di sicurezza, preferiscono spostare tutti i pazienti a Ciriè, intasando il relativo blocco operatorio. Pazienti residenti in altri paesi sotto la medesima ASL possono fare il pre-ricovero a Ciriè mettendosi d'accordo con il medico, il quale li inserisce nella lista opportuna. Questa richiesta viene spesso fatta da residenti di Ciriè che hanno un medico di fiducia che opera in un'altra struttura dell'ASL o che preferiscono un blocco operatorio in cui l'attesa per l'intervento sia inferiore. Altri motivi per i quali si potrebbero avere pre-ricovero e intervento chirurgico eseguiti in strutture diverse sono invece legati alle risorse: mancanza di una tecnologia in altri ospedali o intervento particolarmente complicato per il quale si preferisce far affidamento alla rianimazione, non presente in tutte le strutture ospedaliere.

Essendo un servizio centralizzato, tutti i reparti vi si affidano e ognuno inserisce i pazienti da operare in una lista operatoria dopo aver assegnato loro un codice secondo priorità. Questi codici definiscono il tempo limite entro cui il paziente va operato:

- **A entro 30 giorni:** sono casi clinici che potenzialmente possono aggravarsi al punto da diventare emergenti, o comunque peggiorare la prognosi
- **B entro 60 giorni:** casi clinici che non manifestano la tendenza ad aggravarsi rapidamente al punto da diventare emergenti

- *C entro 180 giorni*: casi clinici che non manifestano la tendenza ad aggravarsi rapidamente al punto da diventare emergenti e i pazienti presentano minimo dolore e/o disfunzione e/o inabilità
- *D entro 12 mesi*: pazienti che non presentano dolore, disfunzione o inabilità

Quindi i pazienti sono distinti per specialità e all'interno della specialità per priorità.

Le liste operatorie sono informatizzate e la struttura si affida a un software di gestione regionale. Prima dell'avvento del sistema informatizzato si usavano registri, i cosiddetti *registri di trasparenza*. In questo registro con numerazione progressiva si inserivano i pazienti in attesa di essere operati per ordine di arrivo e il personale di pre-ricovero si occupava di suddividerli in base alle priorità. Il nome derivava dal fatto che il paziente poteva venire a consultarli per sapere la posizione nella quale si trovava.

2.10.1 Planning settimanale

Come scelta organizzativa si è deciso di mettere tutti le attività concernenti il pre-ricovero in una sola giornata, in modo da non far tornare il paziente più volte a meno che l'anestesista non richieda accertamenti ulteriori. La programmazione è su base settimanale e definisce quanto spazio si dà a ogni reparto, ossia quanti pazienti si visitano. La decisione è presa in realtà a livello di reparto e comunicata al pre-ricovero. Per esempio oculistica dà la disponibilità per fare cinque cartelle al giorno, ginecologia invece impone un massimo di sei o sette cartelle, mentre le altre specialità sono più flessibili. Si può quindi concludere che uno dei motivi per i quali passano pochi pazienti dal pre-ricovero è il fatto che i chirurghi non danno molta disponibilità a fare la visita per le cartelle cliniche. Da una settimana all'altra questo planning non cambia, ma si cercano di monitorare mensilmente le necessità dei vari reparti. Per esempio le urgenze dal pronto soccorso talvolta fanno saltare gli interventi in elezione, i quali si accumulano da una settimana all'altra: per evitare un intasamento il reparto chiede di ridurre il numero di pazienti che fanno le visite in modo da evitare di far scadere gli esami. Le infermiere che gestiscono il servizio di pre-ricovero non sanno se effettivamente i pazienti visitati siano stati operati o meno perché il sistema informatizzato non dà loro accesso a quest'informazione. Per questo motivo devono richiedere un feedback periodicamente per sapere come gestire il mese successivo. Se invece avessero a disposizione questi dati, avrebbero una panoramica completa: in particolare sarebbero a conoscenza di quali specialità hanno un numero di interventi maggiore e quindi potrebbero assegnare gli slot in base alla richiesta (si tolgono ai reparti che nel periodo ne hanno meno). Dal momento che il servizio di pre-ricovero lavora cieco, fa involontariamente da collo di bottiglia non modificando il numero di utenti che passano sulla base della richiesta.

2.10.2 Scelta dei pazienti

Ogni specialità chirurgica ha ogni settimana un certo numero di posti a disposizione per i pazienti che devono eseguire il pre-ricovero e le infermiere responsabili del servizio si occupano di riempirli chiamando i candidati all'intervento. A seconda della specialità la situazione è diversa:

- Otorinolaringoiatria, Chirurgia Generale, Oculistica e Ortopedia: le infermiere prendono i nominativi dalla lista seguendo l'ordine di inserimento e il codice di priorità d'intervento. Più in dettaglio prendono la lista di tutti i pazienti da chiamare in ordine di priorità, tutte visibili: guardano se ci sono A, nel qual caso chiamano e poi

passano in B e chiamano (secondo giorno di arrivo). Se troppo presto, si passa ai C e allo stesso modo ai D. Se ancora non si sono riempiti tutti gli spazi, si ricomincia in B e così via

- Urologia e Ginecologia: i medici inseriscono date indicative per l'intervento, stabilite il giorno della visita specialistica, per cui le infermiere hanno un ordine prestabilito. Si cerca di prendere appuntamento almeno una ventina di giorni prima per avere il tempo di risolvere eventuali problematiche che emergono con la visita anestesiologicala (es. glicemia fuori range) e che richiedono ulteriori test come una visita cardiologica, un test da sforzo o un holter. . .

Questa differenza è dovuta alle caratteristiche delle chirurgie: in chirurgia generale e oculistica ci sono molte variabili e quindi la previsione non sarebbe affidabile, per la prima ci sono molte urgenze, per la seconda le liste di attesa sono eccessivamente lunghe.

Quando un paziente chiamato non risponde, viene chiamato il successivo. Se un paziente non risponde per 3 o 4 volte, si manda un telegramma, se non risponde ancora, lo si cancella come "non rintracciabile". Tuttavia, si cerca di farlo solo in casi estremi perché si tratta di far perdere al paziente la priorità acquisita

Quando il paziente ha la disponibilità per venire al prericovero, viene spostato in "pre-accettazione" o "pre-ricovero". Può così cominciare la procedura per preparare tutte le richieste degli esami e le etichette, che sono inviate telematicamente o meno ai vari servizi, che quindi sapranno cosa dovranno fare ogni giorno.

2.10.3 Processo il giorno del pre-ricovero

Il servizio di pre-ricovero fornisce prestazioni che rientrano comunemente nello screening per la valutazione dell'idoneità anestesiologicala. Le indagini diagnostiche di base sono:

- prelievo di sangue per gli esami ematochimici
- elettrocardiogramma
- eventuali visite specialistiche ed indagini radiologiche (RX torace, visita cardiologica. . .)
- visita anestesiologicala

Inoltre potrebbero essere condotti ulteriori approfondimenti in base al risultato delle indagini precedenti. Più nel dettaglio ogni specialità ha il suo pacchetto di esami in base alla specificità dell'intervento (piccola, media, grande chirurgia): elettrocardiogramma e anestesista sono sempre comuni a tutto, invece ciò che varia sono gli esami del sangue e il RX torace. Per esempio il pacchetto del grosso intervento di ginecologia comprende elettrocardiogramma, profilo grande ematologico ed eventualmente RX torace. Infine, sulla base delle informazioni che le infermiere addette raccolgono durante la chiamata per la programmazione del prericovero (es. diabetico, fumatore. . .), sono in grado di fare un quadro delle eventuali problematiche del paziente e quindi aggiungere esami che sanno già l'anestesista chiederà, mettendo così le mani avanti e sveltendo il tutto.

Il presidio ospedaliero di Ciriè ha come obiettivo quello di offrire un servizio di pre-ricovero che si svolga all'interno di un'unica giornata. La figura 2.17 descrive, mediante un workflow, il suo svolgimento. Il paziente si deve presentare alle 7.30 a digiuno in laboratorio analisi per gli esami ematochimici; avendo una corsia preferenziale, passa immediatamente senza dover fare la coda. Nel caso in cui sia necessario un RX torace, allora

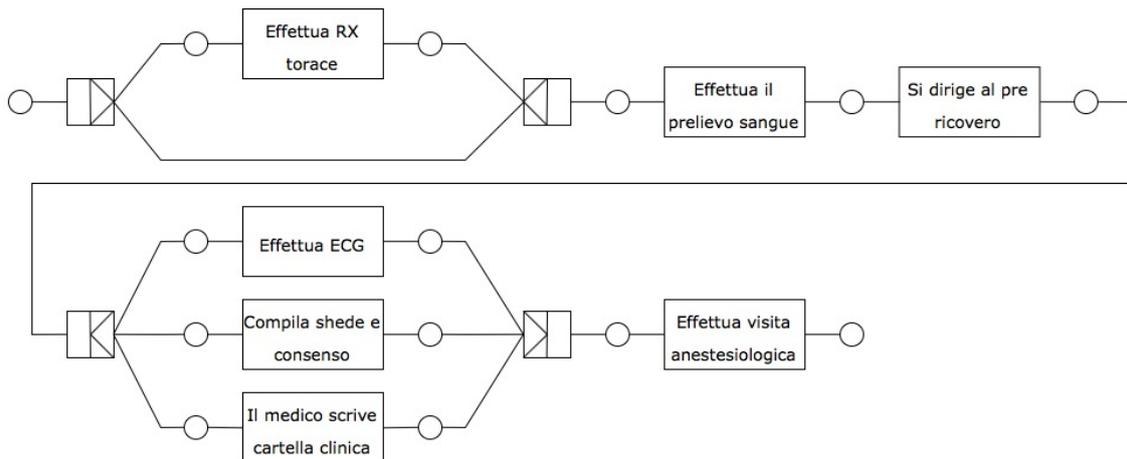


Figura 2.17: Workflow delle attività comprese nel servizio del pre-ricovero

si reca prima in radiologia (alle 7.00). Al termine di questa prima fase, può fare colazione e prendere gli eventuali farmaci; successivamente si dirige al reparto del pre-ricovero. Un'organizzazione di questo tipo permette di avere i referti di tutti gli esami condotti per le 10.30-11.00, ora nella quale possono iniziare le visite anestesologiche (l'anestesista ha bisogno degli esami del sangue). Durante questo intervallo di tempo viene eseguito l'elettrocardiogramma, gli esami strumentali eventuali (TAC) e la cartella clinica per ogni specialità. Quest'ultima deve essere scritta dal medico chirurgo, che solitamente si rende disponibile per le 9.00-9.30 (urologi alle 12.00). Egli, infatti, non ha bisogno del referto del laboratorio di analisi, ma per scrupolo visiona l'eventuale TAC (in questo caso scendono dopo). In questo momento raccoglie i dati relativi ad anamnesi, patologie remote e vicine e chiede il consenso all'intervento che propone. Molto spesso chi fa la cartella non è colui che ha dato indicazione all'intervento o che opera. Infatti, sarebbe ancora più difficile trovare pazienti disponibili quando il medico chirurgo lo è. Solo il reparto di oculistica fa eccezione: la cartella viene fatta dal chirurgo che opererà.

Mentre i pazienti sono in attesa della visita anestesologica, quando non fanno esami di altro tipo, vengono dati loro i documenti per l'anestesia e i consensi da compilare e restituire. In questo modo si occupano dei tempi morti e si accelera il tutto: l'anestesista deve solo più fare un commento o una specificazione rispetto quello che la persona ha già crocettato. Un difficoltà riscontrabile per i fruitori del servizio è la mancanza di un locale adatto al fatto che la persona debba attendere e dedicarsi alla compilazione dei documenti necessari.

I pazienti nel pre-ricovero sono chiamati per la visita con l'anestesista uno per volta secondo un ordine che prevede prima i pazienti di oculistica e poi tutti gli altri. La scelta è dovuta al fatto che i tempi in oculistica sono più lunghi e quindi i medici hanno bisogno di più tempo: oltre che scrivere fisicamente la cartella, il medico guarda l'occhio perché a distanza di un anno e mezzo la situazione potrebbe essere cambiata.

Sempre durante l'attesa può capitare che le infermiere prendano pressione e parametri anche prima dell'arrivo dell'anestesista, in questo caso i pazienti sono fatti entrare uno per volta e uscire. All'arrivo del medico, i pazienti sono di nuovo chiamati uno per volta: dopo alcune domande preliminari, vengono sentiti cuore e polmoni e sono visionati gli esami. Si decide se ci sono da fare ulteriori accertamenti oppure la visita del pre-ricovero è completa: si dà il consenso per l'anestesia e si sceglie quale sia la più adatta in base alla persona e al tipo di intervento definendo il rischio clinico. Per le eventuali visite aggiuntive

i pazienti faranno sempre riferimento al pre-ricovero perché ha accordi con quasi tutti i servizi e quindi ha posti preferenziali.

L'unica specialità che segue il processo appena descritto è urologia, mentre per le altre ci sono le seguenti differenze:

- Ginecologia: la cartella clinica è scritta dopo la visita anestesiologicala. Dato che l'intervento viene pianificato sulla base del ciclo mestruale, i medici preferiscono assicurarsi che sia tutto a posto dal punto di vista anestesiologicalo e successivamente far recare i pazienti nel loro reparto per la stesura della cartella clinica e la scelta di una data
- Otorinolaringoiatria: i chirurghi redigono la cartella clinica il giorno stesso dell'intervento
- Ortopedia: il primario ha dato disposizioni di compilare la cartella in un giorno separato dagli altri esami del prericovero e precedente. Infatti, durante questo incontro il paziente viene visitato nuovamente e si potrebbe decidere che l'intervento non sia indicato e annullarlo senza dover perdere i soldi degli esami condotti. Questo non avviene per i grossi interventi che è sicuro saranno eseguiti

2.10.4 Difficoltà nell'utilizzo del software

Il software regionale in uso nel presidio ospedaliero di Ciriè è stato progettato per un altro ospedale che gestisce in modo diverso il processo e poi adattato a questa struttura. Inoltre, il personale non è stato opportunamente formato per utilizzare il software e non sono ben chiare le responsabilità, ossia quale figura se ne debba occupare.

Il sistema informatizzato prevede che ogni reparto abbia a disposizione una lista nella quale inserire tutti i candidati all'intervento. Le infermiere che lavorano nel servizio del pre-ricovero estraggono da questa i nominativi dei pazienti da chiamare per organizzare le visite. Tuttavia, una volta che il prericovero è stato eseguito e tutto è andato a buon fine, non esiste una lista in cui spostare i pazienti, ma per distinguerli il personale scrive nelle note di ognuno la sigla "prericovero ok". Inoltre nella medesima lista non esiste una distinzione per quei pazienti hanno dovuto posticipare l'intervento per scelta o per complicazioni e che quindi sono solo formalmente in attesa.

Si tratta di una problematica che causa errori perché a partire da questi dati si estraggono tutta una serie di statistiche di utilizzo per la direzione che non sono corrette e che quindi danno una panoramica sbagliata di quale sia la situazione. Infatti, il numero di pazienti all'interno della lista non corrisponde al numero di pazienti in attesa del prericovero.

Dal punto di vista software andrebbero quindi aggiunte alcune casistiche:

- mobilitare i pazienti che hanno fatto il prericovero con esito positivo in una lista opportuna che sia visionabile dal reparto per la pianificazione dell'intervento
- lista di pazienti che hanno annullato l'intervento e quindi il pre-ricovero per motivi diversi
- lista dei pazienti sospesi, ossia di coloro che, per motivi diversi, hanno scelto di farsi operare in futuro

Invece per i pazienti che hanno fatto il pre-ricovero, ma non l'intervento, esiste la sezione "archivio liste", in quanto per legge non è possibile eliminare dati ed esami di un paziente. Questa sezione è mal utilizzata.

Altri problemi di utilizzo del software sono invece causati dal personale di reparto: la mobilitazione del paziente dallo stato di “pre-ricovero effettuato” allo stato di “accettazione in unità operativa” non viene eseguita seguendo il criterio corretto. Dal punto di vista software il giorno dell’intervento il reparto dovrebbe prendere in carico il paziente, il quale passa da “prericovero ok” a “chiuso”. In realtà spesso non avviene perché i reparti, avendo a disposizione le cartelle cliniche cartacee, lavorano con quelle tralasciando il sistema informatizzato. A causa di questo risultano vari pazienti con “prericovero ok” relativi all’anno passato, che probabilmente sono anche già stati operati. Errore ancora più grave e frequente è che in reparto si crei una nuova istanza per il paziente invece che recuperare il suo profilo: non è un problema dal punto di vista degli esami perché si ha a disposizione la loro versione cartacea, ma a livello delle statistiche esistono dei pacchetti non chiusi (a livello regionale potrebbero non pagare per quei pacchetti).

Tutte queste considerazioni sono state raccolte nel tempo con l’uso del sistema, ma tuttavia non c’è mai stata una revisione e quindi non è stato possibile apportare le modifiche adatte. Sarebbe opportuno stabilire un momento nel quale fare un punto zero, piuttosto che chiamare in caso di malfunzionamento. Sempre per arrivare a un punto zero di corrispondenza tra il cartaceo e la versione informatizzata, occorrerebbe lavorare in ogni reparto e sulla base delle cartelle ivi presenti, cancellare dalle liste virtuali tutto quello che non risulta.

2.10.5 Alcuni numeri

Tutti i codici dei vari reparti, eccezion fatta per la specialità di oculistica, vengono rispettati, anche grazie al fatto che non c’è una richiesta tale da non permetterlo. A causa del fatto che non hanno accesso alle informazioni e che la situazione è diversa per ogni specialità, il personale del servizio di pre ricovero non può dire quanto tempo passi dalla situazione “pre-ricovero eseguito” all’esecuzione dell’intervento vera e propria.

Chirurgia Generale È una delle specialità aventi la lista d’attesa più lunga e il gran numero di interventi si divide tra piccoli e grandi interventi. In linea di principio tutti i day surgery potrebbero essere fatti in locale, ma l’anestesista associa ai pazienti un rischio troppo alto e quindi li rende dei grossi interventi. Risultano 149 pazienti (147 togliendo archivio liste) in lista per il prericovero e un numero superiore a 250 di pazienti che devono eseguire l’intervento. Si tratta chiaramente di un valore non plausibile, è più veritiero siano intorno a un centinaio o anche meno.

Oculistica Descritta in modo più approfondito nella sezione seguente, questa specialità ha la lista di attesa più lunga. A tutti gli interventi di cataratta è assegnata una priorità C e sono più di 400. Invece non esistono le A, quindi le B sono trattate come le operazioni aventi priorità massima.

Ginecologia Secondo il sistema informatizzato 13 pazienti sono in lista per il prericovero e 89 lo hanno già seguito e devono essere operati. Il secondo dato non è corretto, più probabilmente una quarantina di pazienti è da chiamare e aspetta per l’intervento.

Ortopedia Questa specialità ha liste di attesa molto brevi, con tempi di attesa inferiori a un mese: 13 pazienti sono in lista per il pre-ricovero e dei 119 da operare sono stati contati 52 pazienti effettivamente in attesa.

Otorinolaringoiatria In questa specialità 35 pazienti risultano in lista per il pre-ricovero e più di 250 sono da operare (prericovero eseguito), ma chiaramente non sono cor-

retti. Contando, ci sono 1 paziente in A e 38 pazienti in B. In C l'attesa è di circa un mese, invece non esistono interventi con priorità D o N.

Urologia Questa specialità, al contrario delle precedenti ha molti interventi con priorità A perché si tratta di tumori. Avendo liste di attesa abbastanza lunghe, per evitare di far scadere i codici A utilizzano un escamotage: il paziente non viene inserito in lista se si sa già che non potrà essere operato nel mese successivo. Il medesimo avviene anche quando si devono eseguire due interventi successivi, tra i quali deve passare un determinato tempo. Le liste informatizzate prevedono 55 pazienti che aspettano per il prericovero. Dato che questa specialità ha scelto di mettere i codici di priorità in base al tipo di intervento e non al dolore, in generale tutti gli interventi con classe C e D possono aspettare perché non sono urgenti, ma richiesti dal paziente. Le liste d'attesa risultano:

- A: rispettata
- B: si stanno operando i pazienti che hanno prenotato un mese fa
- C: si stanno operando i pazienti che hanno prenotato sette mesi fa
- D: si stanno operando i pazienti che hanno prenotato cinque mesi fa
- N: circa un anno fa

Piccoli interventi che potrebbero essere ambulatoriali sono fatti passare anche prima del tempo, inserendoli tra interventi più grossi per riempire la sala operatoria. La medesima cosa succede se l'intervento viene fatto a Lanzo perché viaggia in parallelo con liste sue, tuttavia gli anestesisti portano i pazienti da Lanzo a Cirié per questioni di sicurezza.

2.10.6 Il problema di oculistica

La specialità di oculistica è l'unica specialità chirurgica ad avere liste di attesa talmente lunghe da non poter rispettare i tempi stabiliti dai codici delle priorità all'intervento. Il caso più eclatante è la cataratta, per la quale occorre aspettare circa 18 mesi nonostante abbia una priorità C. Nonostante l'ampio serbatoio, dal lato della sala operatoria invece risulta difficile riempire le note operatorie e a questo riguardo si possono fare le seguenti osservazioni:

- poca disponibilità da parte dei medici chirurghi a dedicare tempo alla stesura delle cartelle cliniche durante il servizio di pre-ricovero. Gli oculisti offrono poco tempo durante la settimana per scrivere le cartelle cliniche durante il prericovero, quindi sono pochi i pazienti che possono completare il percorso ed essere operati
- i medici chirurghi desiderano operare i propri pazienti, ossia coloro che hanno visitato nei loro studi privati. Si tratta di un tacito consenso tra il medico e il paziente, che potrebbe causare rallentamenti o blocchi nel momento in cui l'operatore non è disponibile. Per questioni di trasparenza si decide di chiamare i pazienti lo stesso, ma saranno bloccati in reparto. Se si bypassasse la questione della trasparenza (non è possibile per legge), si potrebbero reperire i pazienti degli altri chirurghi e quindi riempire la nota operatoria. Occorre sottolineare che da questa situazione sono esclusi tutti i pazienti che passano con l'ASL. Inoltre si può fare un'ulteriore distinzione: alcuni chirurghi operano solo con il primario quindi è possibile inserire nelle loro giornate i pazienti di uno dei due o dell'ASL; invece, chirurghi che entrano

in sala da soli operano loro i pazienti o quelli dell'ASL. Infine, medici diversi hanno code di attesa di lunghezza differente

- alto è il numero di interventi annullati per motivi diversi, come ad esempio eventuali complicazioni nello stato di salute del paziente o evoluzioni nella patologia. Molto pazienti sono anziani, quindi quando vengono chiamati potrebbe essere che non possano venire per motivi diversi: condizioni fisiche che fanno sì che l'intervento passi in secondo piano, impossibilità nel muoversi per venire in ospedale. . .

La conclusione di queste considerazioni è che nel già ridotto pull di pazienti che hanno fatto il pre-ricovero e che quindi possono essere operati, pochi soddisfano i criteri e quindi spesso non ce ne è un numero sufficiente a riempire la giornata operatoria

L'enorme tempo di attesa per l'intervento è una variabile che influenza pesantemente la situazione e le scelte dei medici perché è molto probabile che il paziente cambi le proprie condizioni. Facendo riferimento per esempio alle cataratte, nell'arco di diciotto mesi la patologia potrebbe evolvere in qualcos'altro e quindi si potrebbe dover annullare l'intervento. Ai pazienti è suggerito di fare dei controlli durante questo periodo, ma in realtà o non lo fanno o non c'è il tempo perché l'attesa è lunga anche per le visite ambulatoriali (un anno e mezzo).

I medici tendono ad inserire in lista pazienti che non hanno una cataratta matura, supponendo che nel tempo essa si svilupperà e sarà pronta ad essere operata dopo l'anno e mezzo di attesa. Essendo una scienza non esatta, vari sono i casi in cui il giorno del pre-ricovero la visita durante la stesura della cartella clinica mostra che la diagnosi fatta in passato era sbagliata e di conseguenza non il paziente non va operato. Il paradosso dal punto di vista del pre-ricovero è aver perso un posto e il costo dell'esecuzione degli esami: secondo il personale infermieristico accade nel 30% dei casi, ma occorrerebbero delle statistiche più dettagliate. Altro dato fornito è che almeno due o tre volte alla settimana un paziente viene scartato per un cambio di condizioni, siano esse legate al fatto che non serve l'intervento o che esso sia andato in secondo piano. Per risolvere questo problema questa specialità dovrebbe scegliere un percorso di pre-ricovero simile a quanto viene fatto per ortopedia, ossia i medici oculisti dovrebbero fare una visita in un giorno antecedente alle indagini diagnostiche e in questa sede decidere se annullare l'intervento o meno. Tuttavia si tratta di una scelta critica perché il paziente è anziano ed è politica del servizio farlo recare presso la struttura ospedaliera il meno possibile.

Per risolvere il problema della lunghezza della lista di attesa si può:

- non programmare un intervento prima dello sviluppo della patologia, ossia inserire il paziente in lista d'attesa solo quando presenta una cataratta matura
- se la visita oculistica mostra che il paziente sta iniziando a sviluppare la cataratta, allora deve fare controlli ogni sei mesi per monitorare la situazione. In questo modo quando sarà effettivamente messo in lista sarà già trascorso circa un anno e dovrà solo aspettare il tempo caratteristico di un tipo C. In pratica si tratta della stessa attesa, ma è gestita in modo più corretto
- aumentare il numero di sedute operatorie per la specialità di oculistica
- aumentare il numero di pazienti di oculistica che fanno il pre-ricovero ogni settimana

Circa un anno fa, stava succedendo la stessa cosa che avviene oggi con le cataratte con APTV e TURP, interventi non urgenti di urologia. La motivazione era il fatto che passassero prima i tumori e i pronti soccorsi che sono prioritari. Ulteriore possibilità di

soluzione per superare il problema può essere applicare la medesima strategia, utilizzata un anno fa, nella specialità di urologia. In questo reparto, dovendo dare la priorità al trattamento dei tumori o dalle urgenze del pronto soccorso, gli interventi di APTV e TURV non prioritari avevano iniziato ad avere liste d'attesa molto lunghe. La ASL aveva così autorizzato i chirurghi di proporsi anche privatamente: il servizio pre-ricovero aveva l'obbligo di far passare il paziente che sceglieva questa opzione e l'intervento veniva eseguito in libera professione al pomeriggio nelle medesime sale operatorie, mentre medico tutta l'equipe operatoria erano pagati come liberi professionisti. Aggiungendo ore di sala operatoria nella pianificazione mensile, non si é più verificato.

I pazienti, viste le lunghe attese, spesso in conflitto con le loro necessità (patente, difficoltà a vedere...), tendono a farsi operare privatamente dal medesimo chirurgo dell'ASL da quanto dichiarano quando vengono chiamati dal personale del pre-ricovero perché è arrivato il loro turno. Spesso capita che il posto acquisito sia utilizzato per sottoporre all'intervento il secondo occhio (quindi fanno un occhio privatamente e un occhio nel pubblico).

Capitolo 3

Pianificazione automatica del programma operatorio

La qualità assistenziale in sala operatoria è compromessa in caso di una gestione inaccurata del programma operatorio, ossia della lista di pazienti che, secondo una specifica pianificazione, subiranno un intervento chirurgico in una determinata giornata. È gestito dal coordinatore infermieristico del blocco operatorio sulla base delle priorità assistenziali (urgenza, emergenza, routine), delle risorse materiali e di personale e delle esigenze organizzative (es. posti letto disponibili in terapia intensiva). Le liste operatorie devono prendere in considerazione anche la tipologia di intervento (sporco, pulito, contaminato), l'aspetto anestesilogico e la durata media, per evitare la posticipazione o l'annullamento delle operazioni chirurgiche in caso di formulazioni scorrette. I programmi operatori devono seguire le linee guida ministeriali e rispettare delle precise tempistiche, al fine di fornire un'assistenza sanitaria efficace e produttiva che prenda in considerazione gli aspetti clinici del singolo utente e le esigenze aziendali.

Il presente capitolo intende affrontare il problema della pianificazione del programma operatorio in modo automatico, utilizzando strumenti software che, tenendo conto di tutti gli aspetti legati all'intervento, come la sua durata o la disponibilità delle risorse necessarie, definisca su base settimanale o più quali interventi fare e in che ordine. Nelle prossime sezioni sarà descritto il problema, proposto un modello matematico che lo rappresenti, successivamente risolto all'ottimo applicando approcci esatti. Infine sono presentati brevemente alcuni risultati.

3.1 Analisi bibliografica

Il seguente capitolo presenta le varie difficoltà nella gestione dell'agenda operatoria e gli strumenti che la ricerca ha messo a disposizione. Quando si affronta questo argomento, due sono i termini da tenere a mente: *planning* e *scheduling*. *Planning*, traducibile con "pianificazione" o "programmazione", si riferisce al processo di allineamento della domanda con l'offerta per cui ha a che fare con la disponibilità di risorse. Invece *scheduling*, malamente tradotto con "schedulazione" o "sequenziamento", riguarda la costruzione di un orario e quindi la definizione dell'ordine di ogni attività, cui si associa un tempo di inizio [49]. Patterson [43] ha individuato tre diverse strategie di gestione del blocco operatorio:

- *Open scheduling*: prevede di assegnare le operazioni secondo il principio "chi prima arriva meglio alloggia" semplicemente allocando le varie chirurgie nelle varie sale il

giorno prima. A un primo livello di costruisce una pianificazione a medio termine, che successivamente viene modificata secondo le necessità del breve termine.

- *Block-scheduling*: a ogni specialità chirurgica (o eventualmente team chirurgico) sono assegnati dei blocchi orari fissi e ognuna si organizza come preferisce avendo però il vincolo di non poter eccedere
- *Block-scheduling modificato*: si tratta di una strategia simile alla precedente, ma che tenta di aumentare la flessibilità tenendo alcuni blocchi liberi e permettendo alle varie specialità di scambiarli in caso di non utilizzo

Oggi la maggior parte delle strutture ospedaliere gestisce l'agenda operatoria mediante strategie che si basano sul principio del "buon senso" [48, 15] affidandosi a una persona che ha esperienza, solitamente il coordinatore del blocco operatorio. Tuttavia i cambiamenti nello scenario sanitario e nella popolazione, che richiede prestazioni in numero sempre maggiore e un servizio di qualità hanno fatto sì che tale approccio non fosse più sufficiente. Gli obiettivi che le aziende sanitarie italiane e di tutto il mondo si propongono sono [27]:

- esecuzione dell'intervento chirurgico al momento giusto sia dal punto di vista del rispetto dei codici di priorità di ogni intervento, sia nel senso di evitare cancellazioni
- minimizzare i tempi di attesa
- evitare costi aggiuntivi, per esempio legati agli straordinari del personale

Questi obiettivi sono raggiungibili mediante un uso più efficiente delle risorse. Essendo la gestione del blocco operatorio particolarmente complessa, a causa del gran numero di stakeholder coinvolti e dell'ammontare delle diverse risorse da considerare, non si può supporre che una persona trovi la soluzione migliore possibile per quanta esperienza ella possa avere. Per questo motivo a partire dagli anni 2000 [13] si sono iniziati a sviluppare sistemi di supporto alle decisioni S01r2, S01r8 che permettono di coordinare molte attività differenti in un ambiente pieno di incertezze [10, 11, 12]. La pianificazione delle attività del blocco operatorio, composto da varie sale e sulle quali ruotano specialità differenti che fanno uso di risorse anche comuni, è un problema ricco di sfaccettature che può essere affrontato a livelli di astrazione differenti, ognuno dei quali prevede decisioni di tipo diverso. I sistemi informatici di supporto possono quindi essere classificati sulla base del livello decisionale al quale operano [27], tenendo conto però che una divisione di questo tipo crea insiemi dai contorni sfocati perché le decisioni sono spesso correlate [49]. Si distinguono tre livelli decisionali:

- *strategico*: distribuire le ore di sala operatoria disponibili tra le diverse chirurgie
- *tattico*: coincide con la costruzione del Master Surgical Schedule (MSS)
- *operazionale*: definire il sequenziamento delle varie chirurgie in elezione

Questi tre livelli dipendono uno dall'altro perché chiaramente l'output di uno sono i dati di input per il successivo come mostra la figura 3.1.

Livello strategico Il problema affrontato a livello strategico è definibile come un problema di allocazione delle risorse perché prevede di determinare:

- il numero e il tipo di interventi da eseguire per ogni specialità
- lo staff medico coinvolto



Figura 3.1: Livelli decisionali [27]

time	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	
8.00-9.00	Orthopedics	Gynecology	General Surgery	Neurosurgery	Orthopedics	
9.00-10.00						
10.00-11.00						
11.00-12.00						
12.00-13.00		Orthopedics	General Surgery	Neurosurgery	Orthopedics	
13.00-14.00						
14.00-15.00						
15.00-16.00						
16.00-17.00	Gynecology	Orthopedics	General Surgery	Neurosurgery	Orthopedics	
17.00-18.00						
18.00-19.00						
19.00-20.00						

Fig. 3 An example of an MSS

Figura 3.2: Esempio di Master Surgical Schedule [27]

- le risorse necessarie e in che quantità

Decisioni a questo livello hanno influenza sul resto della struttura ospedaliera e sono influenzate da questa, si pensi per esempio al dimensionamento dei vari reparti cui afferiscono le specialità chirurgiche [51]. Avendo un budget fisso, c'è un numero limitato di ore di sala operatoria disponibili che va diviso tra le varie chirurgie secondo un determinato criterio, che può essere una ripartizione equa o per esempio basata sui volumi di interventi eseguiti da ognuna in passato. La pianificazione parte dallo storico dati ed tipicamente l'orizzonte è almeno l'anno successivo. Come regola generale più anni si pianificano, peggiore sarà l'accuratezza possibile perché chiaramente il sistema evolverà in modo autonomo e non facilmente prevedibile.

Livello tattico Una volta che è stato stabilito quanto tempo di sala operatoria è disponibile per ogni specialità, occorre creare un calendario. Il Master Surgical Schedule (MSS) è proprio questo: per ogni sala operatoria definisce quante ore rimarrà aperta ogni giorno e quali specialità lavoreranno al suo interno. Nel caso in cui una specialità abbia al suo interno diversi chirurghi, si decide chi lavora in quale giorno, nel rispetto del limite del massimo numero di ore che possono essere assegnate. Dato che il numero di interventi chirurgici per ogni specialità non differisce molto nel tempo, solitamente il MSS è stabilito per un determinato periodo di tempo, che può essere qualche mese o un anno ed è ciclico. Un esempio di MSS è riportato in figura 3.2

I dati di input sono lo storico a disposizione e la domanda attuale e prevista in futuro. A partire da questi ha inizio una negoziazione perché le varie specialità

possono essere in conflitto: attraverso diverse revisioni si cerca di accogliere il più possibile ogni diversa richiesta e di ottimizzarlo rispetto alla disponibilità di risorse e agli eventi stagionali [27]. Per esempio se due specialità fanno uso degli stessi macchinari, si cercherà di non inserirle il medesimo giorno, in modo tale da aver meno problemi nella fase successiva di pianificazione degli interventi. Allo stesso modo ci si regola per quanto riguarda gli eventi stagionali: infatti, nell'arco dell'anno il quantitativo e il tipo di interventi eseguiti da ogni specialità ha delle fluttuazioni e quindi potrebbero essere necessari dei cambiamenti nel MSS. La bontà di un MSS dipende dal criterio scelto per distribuire i blocchi tra le diverse specialità e va valutata non solo sul suo periodo di validità (lo si vuole il più lungo possibile), ma guardando che il totale di ore effettivamente assegnate alla specialità sia il più vicino possibile a quello che è stato stabilito a livello strategico. Infatti, ci sono due difficoltà eventuali da superare: il numero di ore che vanno assegnate alla specialità non è un multiplo della durata di un blocco temporale (quest'ultimo non è modificabile come detto in precedenza) e lo staff disponibile così come il materiale potrebbero ridurre l'effettivo numero di ore che possono essere assegnate.

Livello operativo Il livello decisionale più alto permette di schedare per ogni specialità gli interventi in elezione e può essere online e offline. Si parla di "online scheduling" quando la pianificazione è stravolta e gli interventi in elezione vanno riorganizzati a causa della comparsa di un'urgenza, ma sono trattati più raramente. La schedazione off-line, è invece la pianificazione degli interventi in elezione con anticipo e può essere suddiviso in due sottoproblemi [13]:

- *advanced scheduling*: gli interventi (i pazienti) sono assegnati a un giorno
- *allocation scheduling*: per ogni giorno si definisce l'ordine degli interventi

Gli obiettivi da perseguire sono diversi: relativamente al paziente si vuole massimizzare la sua soddisfazione per esempio riducendo l'attesa, invece per quanto riguarda l'aspetto economico si vuole massimizzare l'efficienza in termini di utilizzo della sala operatoria e delle risorse. Vari sono gli aspetti da tenere in considerazione, come la disponibilità di strumentario, macchinari, personale specializzato e risorse per il post-operatorio.

Secondo la letteratura la pianificazione a questo livello può essere su base giornaliera o settimanale, al più riguardare le due settimane successive. Le decisioni che è possibile prendere sono relative alla data, all'orario, a sala operatoria o all'apparecchiatura da utilizzare. Ognuna ha un impatto differente sulle performance del blocco operatorio [13]. Gli obiettivi scelti più sovente sono:

- Di interesse per il paziente:
 - massimizzare la soddisfazione in termini di tempi di attesa [42], evitando per esempio di far scadere la validità degli esami pre-operatori. Ottenibile in modo indiretto massimizzando il numero di interventi eseguiti [52]
 - minimizzare il numero di rinvii e cancellazioni
- Relativamente all'uso della sala operatoria in modo efficiente:
 - massimizzare utilizzo della capacità operatoria [40], ma porta a instabilità: una sala operatoria completamente piena senza alcun buffer temporale è più suscettibile alle incertezze, perché un intervento più lungo del previsto determina uno sfioramento

- minimizzare il sottoutilizzo e il sovrautilizzo
- minimizzare il makespan, ossia l'intervallo temporale tra l'ingresso del primo paziente e l'uscita dell'ultimo paziente (somma dei tempi di completamento per tutti i pazienti programmati)
- Di interesse per il personale:
 - minimizzare i tempi non operativi o tempi di attesa del chirurgo [42, 23]
 - minimizzare gli straordinari [42, 23]
 - mettere prima i pazienti particolari, come i bambini e coloro che devono sottoporsi a interventi particolarmente complessi [14]
- Relativamente alle risorse:
 - avere un uso costante, senza picchi. Per esempio fare in modo che nella Sala Risveglio ci sia un numero pressoché uguale di pazienti e non momenti di assenza e momenti in cui si rischia di non trovare posto
 - minimizzare il rischio di problemi di disponibilità in caso di eventi non previsti come un intervento che dura più del necessario

I vincoli sono invece temporali (occorre evitare che due interventi siano schedulati contemporaneamente sulla stessa sala), legati alle risorse (due interventi non possono far uso contemporaneo della stessa risorsa), legati al paziente (ci sono casi prioritari che devono passare per primi al mattino).

Una schedulazione automatica ha come oggetto di interesse la pianificazione degli interventi in elezione, mentre le urgenze/emergenze rientrano nell'insieme di incertezze che affliggono il sistema e vengono solitamente ignorate. Pochi sono gli autori che ne tengono conto, fornendo soluzioni basate su sistemi di programmazione stocastici, i quali si basano su statistiche, come la frequenza con la quale si sono presentate in passato. Roland et al [32] hanno pensato di assumere che il tempo operatorio a disposizione per la pianificazione fosse una variabile casuale con una determinata funzione di densità di probabilità e l'obiettivo era minimizzare i costi legati all'andare oltre l'orario consentito. Più spesso la gestione delle emergenze non viene lasciata al sistema informatizzato, ma affrontata in uno step precedente quando si organizza il blocco operatorio e sono sovente adottate due possibili strategie: avere una sala operatoria dedicata alle emergenze con il relativo personale necessario a disposizione oppure eseguire l'urgenza non appena il primo caso in elezione in qualsiasi sala operatoria termina, stravolgendo la sua pianificazione. La prima scelta permette di essere immediati, ma chiaramente c'è una diminuzione nell'utilizzo delle sale, che determina una perdita dal punto di vista economico [57]. Si sottolinea, ancora una volta, come lo scopo di perseguire l'efficienza non sia primario perché occorre tener sempre a mente che il paziente e le sue necessità a breve e lungo termine sono principali e vengono prima.

Caratteristica chiave dei processi di pianificazione del blocco operatorio con la quale i sistemi informatici devono necessariamente interfacciarsi è la presenza di incertezza, che caratterizza ogni attività, anzitutto per quanto riguarda la sua durata: l'intervento chirurgico vero e proprio, il tempo di risveglio del paziente, l'arrivo al reparto, la disponibilità del personale sono solo degli esempi.

La ricerca operativa è un valido strumento che permette di migliorare la gestione del blocco operatorio. Infatti, secondo l'Association of European Operational Research Societies [4] la ricerca operativa è un approccio scientifico alla soluzione dei problemi nell'ambito dei sistemi complessi; "utilizza metodi quantitativi avanzati, modellazione,

Tabella 3.1: Tipi di ottimizzazioni possibili

Tipo di ottimizzazione	Descrizione
<i>Approccio esatto</i>	permette di trovare la soluzione ottima <i>de jure</i> del problema in un tempo ragionevole <i>de facto</i>
<i>Approccio euristico</i>	permette di trovare in modo molto veloce trovando una soluzione approssimata nel caso in cui i metodi tradizionali falliscono nel trovare quella esatta
<i>Analisi dello scenario</i>	Viene esaminato l’impatto di cambiamenti specifici al settaggio del problema. Secondo [] “Consente di descrivere l’evoluzione possibile di fenomeni ipotizzando andamenti alternativi (scenari) di alcune variabili guida”. Si confrontano, secondo determinati criteri, più scenari, impostazioni o opzioni.
<i>Studi di riferimento</i>	Test appositamente studiato per valutare le prestazioni di un dispositivo, un processo o uno strumento rispetto a uno standard di riferimento.
<i>Problema decisionale</i>	Un problema decisionale è ponibile come una domanda <i>si/no</i> . Per diverse soluzioni possibili ci si chiede se essa sia fattibile o meno e si va avanti fino a che non la si ottiene. Andando per ordine dalla soluzione migliore alla peggiore, si ha un problema di ottimizzazione

strutturazione dei problemi, simulazioni... per esaminare le valutazioni, facilitare una comprensione approfondita e decidere le azioni pratiche”. Le analisi possibili sono volte all’ottimizzazione o alla valutazione della complessità. L’ottimizzazione può essere non solo ottimizzazione combinatoria, ma uno degli altri approcci presentati in tabella 3.1. L’ottimizzazione combinatoria resta però la più largamente utilizzata e le tecniche che la riguardano varie. Considerando la raccolta [13] nel caso in cui si voglia una soluzione esatta, la *mixed integer linear programming* è la più utilizzata, seguono la *linear programming* e la *dynamic programming*. Molto utilizzato è l’approccio euristico e meta-euristico, tra cui si annovera l’uso di algoritmi genetici e *simulated annealing*.

3.2 Descrizione del problema

Il blocco operatorio dell’ospedale di Ciriè possiede cinque sale operatorie, diverse per dimensioni e tipologie di apparecchiature presenti in esse.

Una di queste, non sempre la stessa, è deputata ogni giorno alle urgenze, mentre le altre ai casi di elezione. Queste ultime lavorano con orario 8:00 – 14:00 dal Lunedì al Venerdì e una, a turno, resta aperta fino alle 16:30 (viene chiamato “orario lungo”). Lo scheduling delle operazioni deve rispettare questo tempo e nessuna chirurgia dovrebbe essere pianificata usando tempo extra.

Sei specialità chirurgiche (OCU, GIN, ORL, URO, CH e ORT) utilizzano il tempo a disposizione delle sale operatorie. È pratica di questo Ospedale assegnare una sala a una determinata specialità per tutto il giorno per due ragioni principali:

- fragilità delle apparecchiature nello spostamento
- tempo impiegato per lo spostamento

A causa della mancanza di personale, gli anestesisti essi possono coprire solo tre sale su quattro, quindi la rimanente è comunque aperta, ma solo per interventi che richiedono un'anestesia locale, la quale può essere eseguita dal chirurgo. Il venerdì questo non è più vero: è disponibile un anestesista per sala perché si riduce l'attività ambulatoriale e quindi in caso di necessità una specialità può parlare direttamente con il primario degli anestesisti.

È prevista una pianificazione su base più che mensile che stabilisce come viene suddiviso il tempo a disposizione tra le varie specialità. Questo Master Surgical Schedule (MSS) non cambia di mese in mese a meno che non si notino specialità con liste di attesa particolarmente lunghe, nel qual caso si pensa a una redistribuzione delle ore, ma non a un'aggiunta di slot temporali per mancanza di risorse. Si aggiungono sul medesimo orario nefrologia e endoscopia in caso di necessità.

L'assegnazione delle sale alle specialità è stabilita nel MSS: alcune lavorano sempre nella medesima, altre possono variare. La sala D è sempre assegnata a Ortopedia, o eventualmente lasciata per le emergenze, per questioni di sterilità (questi interventi richiedono una sala particolarmente pulita perché critici dal punto di vista delle infezioni). Invece la sala A è lasciata per le urgenze oppure assegnata a Oculistica in quanto questa specialità richiede macchinari specifici e particolarmente costosi, che si preferisce non spostare. Le sale B, C, E sono invece uguali dal punto di vista della strumentazione e usate dalle restanti chirurgie. Le dimensioni influiscono sul tipo di intervento che si può fare al loro interno: per grossi interventi si preferiscono sale di dimensioni maggiori, quindi si opta per uno scambio. Questo non ha influenza sulla pianificazione degli interventi: non si ha mai il caso di diverse chirurgie che richiedano la stessa sala lo stesso giorno in quanto gli interventi maggiori sono pianificati per tempo e tutte le divisioni sono informate.

Ogni sala operatoria dispone di un'equipe infermieristica per tutto il tempo di apertura regolare della stessa. Non esiste un'assegnazione strumentista – chirurgo, né un'assegnazione strumentista – sala (passaggio al doppio profilo). Tuttavia, se l'operazione è particolarmente delicata, il chirurgo può richiedere una particolare strumentista. Anche questa situazione non crea conflitti tra le diverse specialità nello scheduling delle operazioni perché la strumentista desiderata è quella che storicamente era assegnata alla specialità e c'erano:

- 4 strumentiste per Urologia
- 3 + 1 p.time strumentiste per Ortopedia
- 2 + 1 p.time strumentiste per Otorinolaringoiatria

Quindi non può capitare che una strumentista debba essere su due sale operatorie contemporaneamente. Un'altra esigenza si ha in caso di bambini o pazienti difficili, nel quale caso si preferisce avere una nurse di anestesia in più. Per i bambini è anche obbligatorio un secondo anestesista e questo ruolo è assegnato al tutor, già presente all'interno del blocco operatorio. Entrambe le figure, infatti, fanno parte dell'equipe delle urgenze, i

cui membri normalmente svolgono altre mansioni, solitamente di supporto. Nuovamente, questo non è un vincolo alla schedulazione. Infine, per quanto riguarda il personale, c'è una ditta esterna che si occupa della pulizia e della disinfezione della sala tra due interventi successivi e il tempo impiegato dipende dal tipo di intervento appena eseguito (sporco o pulito).

All'interno del blocco operatorio è presente una sala risveglio con sei posti letto. In essa sono preparati anche i pazienti prima dell'operazione (monitorizzati??) in modo ridurre il numero delle attività che vengono fatte in sala e sono inseriti cateteri centrali a pazienti di reparto che ne hanno bisogno. Non costituisce una limitazione alle attività chirurgiche. Per alcune operazioni (esempi: asportazione della vescica, reni, colon...) è necessario spostare il paziente in RIA, quindi per la pianificazione dell'intervento è necessario verificare prima la disponibilità di un letto, altrimenti si deve rimandare. Infine, per quanto riguarda i posti letto, occorre considerare anche quelli in reparto. In rari casi i reparti sono saturi e non potranno accogliere il paziente appena operato, ma se avviene, si preferisce non far saltare l'intervento e si contattano altri reparti chirurgici. Come regola generale, nel caso in cui siano pochi i posti liberi, il personale si gestisce la nota operatoria, preferendo inserire un numero inferiore di interventi lunghi, piuttosto che molti interventi brevi.

Risorse necessarie per svolgere un intervento sono lo strumentario e le apparecchiature elettromedicali, che sono condivise tra le diverse specialità e quindi possono costituire un vincolo per la stesura delle note operatorie. Infatti, le note operatorie di divisioni diverse possono entrare in conflitto o una determinata nota non è realizzabile a causa della non disponibilità di queste risorse. È però da sottolineare che sono rari i casi in cui capita grazie a un'opportuna distribuzione delle ore tra le specialità nel MSS. Esempi sono:

- 3 colonne laparoscopiche a disposizione e quattro divisioni che la utilizzano
- 3 container per la resettoscopia, che hanno un tempo di sterilizzazione di 3,5h per cui non è possibile inserire 4 resettoscopie in coda una all'altra

La sala operatoria viene informata degli interventi giorno per giorno da tutte le specialità, fatta eccezione per Urologia e Otorinolaringoiatria che inviano una previsione settimanalmente, poi rivista. Ogni reparto finalizza gli interventi da eseguire il giorno successivo e li ordina realizzando così la nota operatoria da inviare alle 12:00 alla caposala del blocco operatorio. Ella verifica la possibilità di combinare insieme le note operatorie dei vari reparti e finalizza il piano. Inoltre, nel momento in cui una delle divisioni previste per il giorno successivo avvisa che occuperà la sala per un tempo inferiore rispetto a quello che ha a disposizione, la caposala verifica la possibilità di offrire lo spazio restante a un'altra specialità chirurgica, sia essa programmata o meno per il giorno successivo. È inoltre possibile che ci siano cambiamenti durante la stessa giornata, ma questo esula dallo scopo della modellizzazione. Gli interventi maggiori fanno eccezione: sono pianificati almeno una settimana prima sia per controllare la presenza di tutti i dispositivi medici e le apparecchiature elettromedicali necessari, sia per informare tutte le altre divisioni.

In reparto la scelta di quali pazienti operare consiste nell'individuare un sottoinsieme di pazienti disponibili per un tal giorno a partire da quelli in lista di attesa. Ai pazienti in lista di attesa per un intervento chirurgico ordinario (ossia, in elezione) viene assegnata una categoria clinica basata sulla valutazione effettuata da uno specialista sanitario. Esistono tre categorie:

- A o urgente: da operare in meno di 30 giorni
- B o semi-urgente: da operare in meno di 90 giorni

- C o non urgente: da operare in meno di 12 mesi

In normali circostanze i pazienti classificati con una categoria di urgenza vengono messi in cima alla lista di attesa. Le divisioni non sono tutte in grado di rispettare, per esempio una cataratta C ha un tempo di attesa medio di 18 mesi.

Il personale di reparto ha una lista ordinata di pazienti che hanno già fatto il pre-ricovero e li contatta per sapere se siano disponibili a farsi operare e in che data in modo da riempire le liste operatorie. A seconda del periodo dell'anno può essere più o meno facile trovare pazienti non occupati, per esempio d'estate spesso rinunciano e fanno slittare l'intervento in autunno. Questo implica necessariamente che l'ordine della lista operatoria non sia più del tutto rispettato e che dal momento in cui è stata fatta la visita di pre-ricovero possono passare mesi o qualche settimana (per legge non più di sei mesi o la visita scade). L'ordine non è perfettamente rispettato anche a causa del fatto che occorre inserire i pazienti in modo da coprire le ore di sala a disposizione senza sforare e senza finire troppo in anticipo per avere la piena occupazionalità della sala. Quindi la caposala di norma sa un insieme di tipologie di intervento che vanno bene insieme e tende a stilare le liste secondo questo "modello". A seconda della divisione chirurgica si ha una panoramica di chi si opererà più o meno a lungo termine. Per esempio Oculistica conosce le liste dell'intera settimana successiva, Otorinolaringoiatria arriva a sapere anche tutto il mese successivo. Ovviamente le decisioni prese possono cambiare per motivi diversi, dall'urgenza, al fatto che il paziente cambi idea sul farsi operare o non possa più essere operato per i risultati di una visita precedente. In questo caso, per non lasciare le liste vuote, si chiamano i pazienti in attesa e si trova il primo disponibile.

3.3 Definizione del modello

Il problema appena descritto può essere riassunto come "stilare la nota operatoria". Secondo la classificazione pensata da Guerriero e Guido [27], appartiene al livello decisionale operativo, che riguarda appunto la schedulazione delle elezioni nell'arco di un determinato periodo temporale.

Nel seguito si fornisce una sua formulazione come modello di programmazione lineare, o più precisamente, come *modello di programmazione lineare intera* (MILP, appendice B).

3.3.1 Dati

I dati rappresentano delle quantità fissate che dipendono dai diversi elementi del sistema. Nel problema in analisi i parametri possono essere relativi agli interventi da eseguire o alle sale operatorie e ai giorni.

- Dati associati all'*intervento*: ogni intervento i appartiene all'insieme degli interventi I ed è associato a una specialità s . Quindi per ogni specialità c'è un insieme di interventi. Per la definizione del problema occorre conoscere di ognuno...
 - se è un *day-surgery*, quindi se è richiesta una notte di pernottamento o no. Viene rappresentato con un parametro che assume valore 0 o 1 (eq. 3.1)
 - la durata della *degenza*, ossia il numero di giorni che il paziente trascorrerà in ospedale a seguito dell'intervento. Viene rappresentato con un valore intero che rappresenta la permanenza (eq. 3.2)
 - se sia necessario o meno portare il paziente in *rianimazione* a seguito dell'intervento. Può succedere per interventi particolarmente delicati oppure con

pazienti con condizioni critiche. Viene rappresentato con un parametro che assume valore 0 o 1 (eq. 3.3)

- la *durata* dell'intervento, espressa in minuti (3.4)
- se sia considerabile *complesso* o meno, concetto rappresentabile con un parametro che assume valore 0 o 1 (3.5) e legato alla durata
- se sia eseguito su un *bambino* o meno. Viene rappresentato con un parametro che assume valore 0 o 1 (eq. 3.6)
- se il paziente sia *allergico al lattice*, concetto rappresentabile con un parametro che assume valore 0 o 1 (3.7)
- se la tecnica seguita per eseguirlo faccia uso o meno di un determinato *macchinario* (3.8)

$$day_hospital(i, s) = \begin{cases} 1 & \textit{i eseguito in day hospital} \\ 0 & \textit{altrimenti} \end{cases} \quad i \in I, \quad s \in S \quad (3.1)$$

$$degenza(i, s) = n, \quad n \textit{ giorni di permanenza in ospedale}, \quad i \in I, \quad s \in S \quad (3.2)$$

$$RIA(i, s) = \begin{cases} 1 & \textit{occorre la rianimazione} \\ 0 & \textit{altrimenti} \end{cases} \quad i \in I, \quad s \in S \quad (3.3)$$

$$dur(i, s) = n, \quad n \textit{ minuti per l'esecuzione}, \quad i \in I, \quad s \in S \quad (3.4)$$

$$lungo(i, s) = \begin{cases} 1 & \textit{considerabile complesso} \\ 0 & \textit{altrimenti} \end{cases} \quad i \in I, \quad s \in S \quad (3.5)$$

$$b(i, s) = \begin{cases} 1 & \textit{eseguito su un bambino} \\ 0 & \textit{altrimenti} \end{cases} \quad i \in I, \quad s \in S \quad (3.6)$$

$$latex_free(i, s) = \begin{cases} 1 & \textit{paziente allergico} \\ 0 & \textit{altrimenti} \end{cases} \quad i \in I, \quad s \in S \quad (3.7)$$

$$m(i, s) = \begin{cases} 1 & \textit{serve il macchinario m} \\ 0 & \textit{altrimenti} \end{cases} \quad i \in I, \quad s \in S \quad (3.8)$$

- Dati associati alla *specialità*: le specialità s appartengono all'insieme S . Occorre sapere...

- quanto ogni specialità lavori. Secondo quanto scritto nel Master Surgical Schedule ¹, ognuna ha mensilmente un quantitativo di ore assegnato e una o più sale. Per ogni specialità si può quindi definire un parametro 3.9 che indichi per ogni giorno, il quantitativo di tempo a lei assegnato, espresso in minuti. Se assume valore zero un determinato giorno, significa che la specialità non lavora.

¹**Master Surgical Schedule**: pianificazione ciclica su base solitamente mensile che definisce per ogni per ogni sala operatoria, il tempo in cui essa rimane aperta e quale specialità vi lavora al suo interno

- i letti che ogni specialità ha a disposizione, liberi, nel suo reparto (eq. 3.10)

$$\text{Regu}(s, d) = n, \quad n \text{ minuti di attività, } d \in D, s \in S \quad (3.9)$$

$$\text{letti_reparto}(s, d) = n, \quad n \text{ numero di letti disponibili, } d \in D, s \in S \quad (3.10)$$

- Dati ulteriori

- numero di letti disponibili nella rianimazione (eq. 3.11)

$$\text{letti_RIA}(d) = n, \quad n \text{ numero di letti disponibili, } d \in D \quad (3.11)$$

3.3.2 Variabili

Il primo fondamentale elemento di un modello matematico di ottimizzazione riguarda le decisioni da prendere, che sono tradotte in variabili decisionali. Tali variabili sono quindi le grandezze del sistema di cui non si conosce il valore (sono assimilabili alle incognite) e sulle quali si può agire per determinare diverse soluzioni alternative del problema. In questo caso le decisioni da prendere sono due: in quale giorno eseguire le varie operazioni delle varie specialità e in che ordine. Considerando I , insieme degli interventi, e D , insieme dei giorni possibili, si è scelto di utilizzare una variabile binaria x_{isd} che assume valore 1 quando l'intervento i , appartenente alla specialità s , è eseguito il giorno d (3.12).

$$x_{isd} = \begin{cases} 1 & \text{intervento } i \text{ della specialità } s \text{ eseguito il giorno } d \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases} \quad i \in I, d \in D, s \in S \quad (3.12)$$

Altre variabili decisionali sono invece relative all'ordine degli interventi. Se ne usano diverse perché si deve stabilire sia la successione per ogni sala (3.13), sia la successione per ogni macchinario (3.14). Per il modello si sono preferite delle variabili di ordinamento rispetto a quelle di posizionamento. Le prime considerano ogni coppia di interventi di un determinato insieme e indicano quale dei due preceda l'altro.

$$y_{kls} = \begin{cases} 1 & k \text{ precede } l \\ 0 & l \text{ precede } k \end{cases} \quad k, l \in I, s \in S \quad (3.13)$$

$$z_{kl} = \begin{cases} 1 & k \text{ precede } l \\ 0 & l \text{ precede } k \end{cases} \quad k, l \in I : m(k) = m(l) = 1 \quad (3.14)$$

Legate a queste è necessaria un'altra variabile decisionale che rappresenta il tempo di completamento di ogni intervento i di ogni specialità s : C_{is} .

Si sottolinea come x_{isd} , y_{kls} e z_{kl} siano variabili binarie, mentre C_{is} sono variabili intere.

3.3.3 Vincoli

Consistono in relazioni matematiche che descrivono le condizioni di ammissibilità delle soluzioni. Servono quindi per discriminare le combinazioni di valori delle variabili decisionali che rappresentano soluzioni accettabili del problema, da quelle che non lo sono.

- un intervento non può essere eseguito più di una volta (eq. 3.15). Non è però detto che si riescano a programmare tutti gli interventi
- ci si deve assicurare che ogni giorno sia rispettato l'orario di apertura della sala (eq. 3.16) in modo da non essere obbligati a fare straordinari per portare a termine la seduta giornaliera pianificata
- deve essere disponibile un letto nel reparto per tutta la durata della degenza (eq. 3.17) nel caso in cui non sia un intervento in day hospital
- deve essere disponibile un letto in rianimazione nel caso in cui l'intervento lo richiedesse (eq. 3.18)
- gli interventi su una stessa sala non devono sovrapporsi, o in altro modo, in ogni sala deve essere svolto un solo intervento per volta. Descritto mediante vincoli disgiuntivi (eq. 3.19) che permettono di legare le variabili di ordinamento con i tempi di completamento degli interventi. A seconda che del valore assunto dalla variabile di ordinamento, una delle due equazioni diventa superflua e l'altra impone che il tempo di completamento dell'intervento che segue sia maggiore del tempo di completamento dell'intervento che precede più la sua durata (eq. 3.20)
- interventi che usano lo stesso macchinario non devono essere contemporanei anche se appartenenti alla medesima sala. Anche in questo caso si usa un vincolo disgiuntivo e la variabile C_{is} è legata a z che mostra l'ordine di utilizzo del macchinario
- pazienti che sono allergici al lattice devono passare per primi, perché la sala operatoria richiede una preparazione particolare che viene eseguita il pomeriggio antecedente al giorno dell'intervento (eq. 3.21)

$$\sum_d x_{isd} \leq 1 \quad \forall i, \forall s \quad (3.15)$$

$$\sum_i x_{isd} \cdot dur(i, s) \leq Regu(s, d) \quad \forall d, \forall s \quad (3.16)$$

$$\sum_i \sum_{d'=d-degenza(i,s)}^d x_{isd} \cdot (1 - dayhospital(i, s)) \leq letti_reparto(s, d) \quad \forall d, \forall s \quad (3.17)$$

$$\sum_i x_{isd} \cdot RIA(i, s) \leq letti_liberi_RIA(s, d) \quad \forall d, \forall s \quad (3.18)$$

$$\begin{aligned} C_k(s) &\geq C_l(s) + dur(k, s) - My_{kl}(s) & k, l \in I, s \in S \\ C_l(s) &\geq C_k(s) + dur(l, s) - M(1 - y_{kl}(s)) & k, l \in I, s \in S \end{aligned} \quad (3.19)$$

$$\begin{aligned}
C_k(s) &\geq C_l(t) + dur(k, s) - Mz_{kl} & k, l \in I, \quad s, t \in S : m(k, s) = m(l, t) = 1 \\
C_l(t) &\geq C_k(s) + dur(l, t) - M(1 - z_{kl}) & k, l \in I, \quad s, t \in S : m(k, s) = m(l, t) = 1
\end{aligned} \tag{3.20}$$

$$y_{il} = 1 \quad \forall i \in I : lf(i) = 1, \quad \forall l \in I : lf(l) = 0 \tag{3.21}$$

3.3.4 Funzione obiettivo

È la quantità da massimizzare o minimizzare, espressa come funzione delle variabili decisionali. In questo caso l'obiettivo è scomponibile in più parti. Anzitutto, si deve assegnare una data al numero maggiore possibile di interventi (3.22).

$$obj_1 = \sum_i \sum_s \sum_d x_{isd} \tag{3.22}$$

La seconda fase riguarda invece l'ordinamento ottimale degli interventi. Si modellano quindi degli obiettivi che ricalchino gli interessi dei chirurghi, che sono due e eventualmente contrastanti: operare prima i bambini, perché sono più difficili da gestire, e di eseguire per primi gli interventi più complessi, ossia i più lunghi. Altri due contributi che vanno a costituire la funzione obiettivo sono quindi 3.23 e 3.24.

$$obj_3 = \sum_i \sum_j \sum_s \sum_d lungo(i, s) \cdot (1 - lungo(j, s)) \cdot y_{ijsd} \tag{3.23}$$

$$obj_4 = \sum_i \sum_j \sum_s \sum_d b(i, s) \cdot (1 - b(j, s)) \cdot y_{ijsd} \tag{3.24}$$

Quindi la funzione obiettivo risulta essere 3.25:

$$maximize (obj_1 + obj_3 + obj_4) \tag{3.25}$$

3.4 Implementazione algoritmo

Per l'implementazione del modello e la sua risoluzione si utilizza il software di ottimizzazione FICO@Xpress, che utilizza l'approccio *branch&bound* per risolvere problemi di programmazione lineare intera. L'ottimizzatore risolve il problema lineare derivante dal rilassamento dei vincoli di discretezza sulle variabili e lo utilizza come regola di branching e come tecnica di bound per creare l'albero delle soluzioni e investigarlo (vedere appendice C). Il tutto si combina con metodi euristici per trovare rapidamente buone soluzioni e piani di taglio per rafforzare i rilassamenti.

3.4.1 Dati

Durante il periodo presso il presidio ospedaliero di Ciriè una delle attività è consistita nel trasferire in formato elettronico i dati relativi ai tempi operatori raccolti nella scheda 2.13. Questi dati sono stati organizzati in una cartella di lavoro excel, composta da vari fogli, ognuno dei quali riferito a una determinata specialità chirurgica. Al loro interno ogni riga riguarda un intervento.

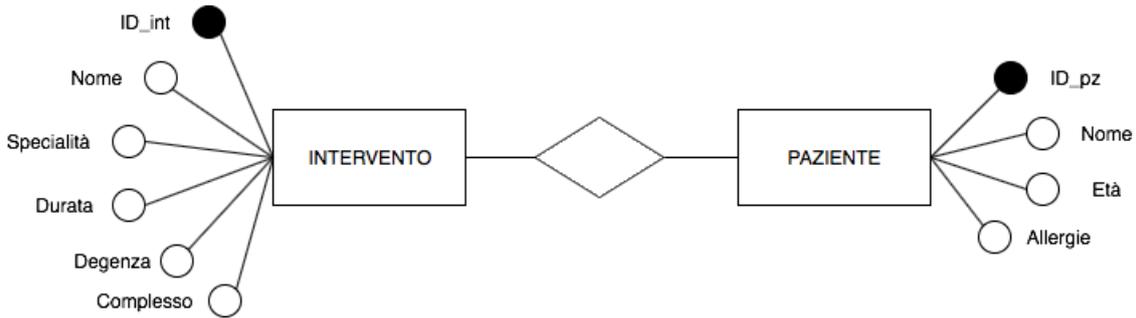


Figura 3.3: Diagramma entità-relazione del database

A partire dai dati è stato possibile estrarre varie informazioni e in questa fase è importante la durata media di ogni tipo di intervento, calcolata come la somma dei tempi pre-operatorio, chirurgico e post-operatorio. Questa elaborazione non è stata possibile per la specialità di Ortopedia e Chirurgia generale a causa del gran numero di interventi possibili, che differiscono tra loro molto poco, e della scarsa qualità dei dati di partenza.

L'algoritmo estrae i dati necessari da un database. Come mostra il diagramma ER (figura 3.3) ci sono due entità: intervento e paziente. Ognuna di esse è caratterizzata da alcuni attributi che sono tutte le informazioni necessarie all'algoritmo di ottimizzazione. La relazione lega il paziente all'intervento che deve eseguire. Al momento l'algoritmo prende in input pazienti da schedulare che hanno già affrontato il pre-ricovero a ricalcare la situazione attuale della struttura ospedaliera, quindi l'informazione relativa non è utile.

3.4.2 Algoritmi

A partire dal modello descritto 3.3 sono state implementate due diverse strategie. La prima è un modello esatto, quindi in un unico step fornisce la soluzione. Nonostante la dimensione del problema sia ridotta, il tempo computazionale inizia ad essere non indifferente a meno di inserire un limite di tempo, e quindi ottenere soluzioni approssimate. Si è scelto così di implementare una strategia in due step, con un approccio euristico. I due step sono quelli presentati da Cardoen [13]:

- *Advanced scheduling*: scelta dei pazienti da operare. Si tratta di un problema di assegnazione il cui scopo è decidere in che giorno della settimana collocare gli interventi, inserendone nella programmazione il numero maggiore possibile.
- *Allocation scheduling*: sequenziamento dei pazienti scelti. Lo scopo è ordinare gli interventi che verranno fatti in ogni sala operatoria rispettando le risorse tecnologiche limitate. Proprio perché uno stesso macchinario può essere usato da più specialità per alcuni interventi, è necessario che questi ultimi non siano eseguiti contemporaneamente.

Per la prima fase si itera sulle specialità perché per la scelta degli interventi esse non si influenzano reciprocamente. Si hanno S problemi disaccoppiati, dove S è il numero di specialità che operano nel blocco operatorio in analisi. Al termine si ottiene una matrice tridimensionale dove ogni giorno sono indicati per ogni specialità quali interventi si svolgeranno. Questa matrice è data in input alla fase successiva. Per scegliere l'ordine con il quale si svolgeranno gli interventi giorno per giorno in una specialità ha importanza quali interventi e in che sequenza si svolgeranno nelle altre specialità a causa della condivisione di risorse. Per questo non è possibile disaccoppiare i problemi, ma se ne realizza uno

Tabella 3.2: Migliori soluzioni per l'istanza 1 al variare dei limiti temporali impostati

istanza 1			
Limite di tempo impostato	5s	60s	500s
F. obiettivo	4892	4892	4896
tot interventi	102	102	103
int complicati prima	2790	2790	2790
int bambini prima	2000	2000	2003

unico e si lavora giorno per giorno. In figura 3.4 è riportato un flowchart maggiormente esplicativo.

Questo algoritmo non garantisce di andare a convergenza, ossia di trovare una soluzione accettabile. Si potrebbe fare in modo che, nel caso in cui non riescano ad ordinare gli interventi selezionati, torni allo step di "advanced scheduling" e si renda non ammissibile la soluzione precedente. Anche in questo caso però non è garantita la convergenza.

3.5 Risultati

Per verificare l'algoritmo e valutare le sue performance sono state realizzate varie istanze a partire dai dati a disposizione. Un'istanza è composta da quattro specialità (ORL, URO, GIN e OCU) e per ognuna si sono presi tutti gli interventi schedulati in 14 giorni consecutivi a scelta. L'algoritmo, avendo questa lista di interventi come input, li schedula sul medesimo arco di tempo permettendo così di fare un confronto con la soluzione usata dal personale.

Utilizzando il metodo esatto che considera il problema nella sua totalità, le istanze risultano in media caratterizzate da 80000 variabili e 100000 vincoli, che da un punto di vista computazionale inizia ad essere oneroso. Per questo motivo si è scelto di inserire un parametro `max_computation_time`, per indicare la durata dell'ottimizzazione oltre la quale l'algoritmo cesserà di funzionare e darà in uscita l'eventuale miglior soluzione trovata fino a quel momento. Chiaramente, all'aumentare del valore di questo parametro, la soluzione tenderà all'ottimo globale come si può osservare dai grafici in figura 3.5, che mostrano l'andamento dell'errore relativo tra il valore della funzione obiettivo ottenuto e il massimo che potrebbe assumere (best bound, vedere appendice C). Si osserva che l'errore relativo è molto piccolo, ma guardando alle soluzioni (tabelle 3.2 e 3.3) non è trascurabile: la soluzione ottenuta lasciando lavorare l'algoritmo per un tempo maggiore permette di inserire un intervento in più nella programmazione. Anche negli obiettivi legati al sequenziamento (far passare i pazienti prioritari prima) si può apprezzare un miglioramento, che è tuttavia meno rilevante in quanto potrebbe essere recuperato dall'utente che utilizza il software, ricordando come esso sia un dispositivo non sostitutivo, ma di aiuto al personale sanitario.

Data un'istanza, può capitare che la somma degli interventi di una specialità sia di gran lunga inferiore al tempo di sala operatoria che la medesima ha a disposizione al punto che li si potrebbe organizzare in un numero inferiore di giorni. Per questo motivo si è modificata la funzione obiettivo introducendo un "costo" relativo all'apertura della sala operatoria. Si utilizza una variabile decisionale binaria ap_sala_{sd} che assume valore

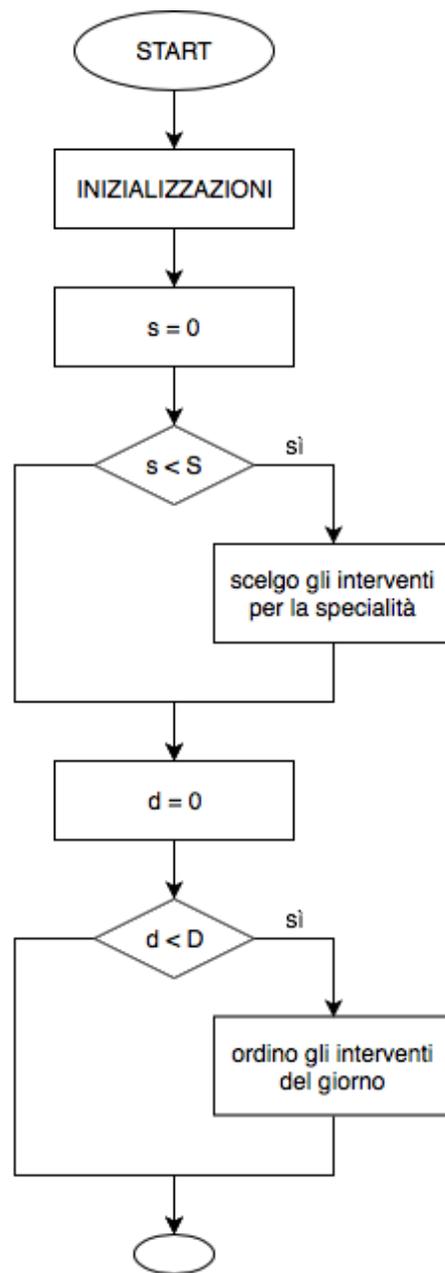


Figura 3.4: Diagramma a blocchi del secondo algoritmo

Tabella 3.3: Migliori soluzioni per l'istanza 2 al variare dei limiti temporali impostati

istanza 2			
Limite di tempo impostato	5s	100s	500s
F. obiettivo	4291	4343	4364
tot interventi	88	88	89
int complicati prima	2857	2905	2925
int bambini prima	1346	1350	1350

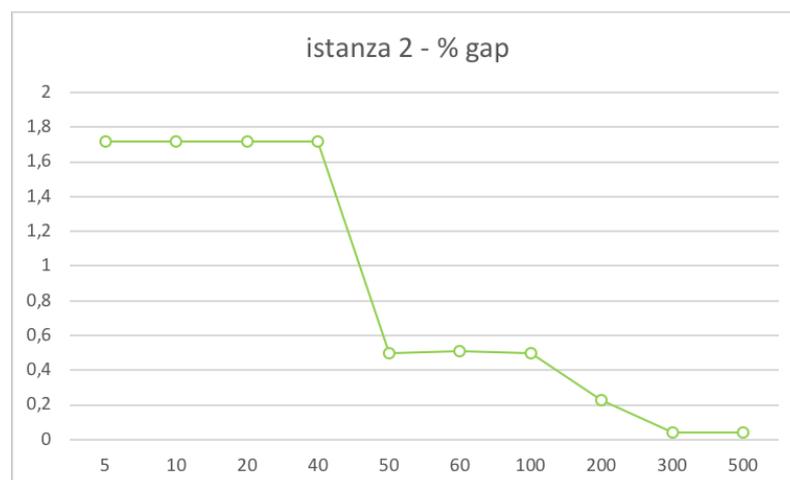
(a) *istanza 1*(b) *istanza 2*

Figura 3.5: Errore relativo tra il valore della funzione obiettivo ottenuta e il miglior possibile

1 quando un qualsiasi intervento della specialità s è pianificato nel giorno d (eq. 3.26). All'interno della funzione obiettivo andrà quindi minimizzato (eq. 3.28).

$$ap_sala(s, d) = \begin{cases} 1 & \text{sala aperta} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases} \quad d \in D, \quad s \in S \quad (3.26)$$

$$obj_2 = \sum_d \sum_s ap_sala(s, d) \quad (3.27)$$

$$maximize (obj_1 - obj_2 + obj_3 + obj_4) \quad (3.28)$$

Queste considerazioni hanno portato quindi ad avere quattro diverse possibilità: infatti, per entrambi gli approcci, ossia esatto (1 step) e euristico (2 step), si hanno due funzioni obiettivo possibili. Per valutare le performance si riportano, per ogni soluzione trovata, le percentuali di utilizzo della sala operatoria dalle varie specialità (tabella 3.7). Avendo inserito come vincolo l'impossibilità di finire oltre l'orario regolare di apertura della sala, non si avranno mai delle percentuali di utilizzo superiori al 100%, come invece si ha con la pianificazione adottata dal personale. In realtà per assicurarsi da questo punto di vista, sarebbe opportuno non avere una saturazione al 100% perché essa è una determinante dell'instabilità. Infatti, a causa delle incertezze che affliggono il sistema, legate al fatto che si lavora con persone per persone, è molto facile che un intervento abbia nella realtà una durata leggermente superiore a quella stimata o ci siano ritardi, e questo determinerebbe uno shift nella programmazione che finirebbe quindi fuori orario. L'introduzione nella funzione obiettivo di un costo per l'apertura della sala fa sì che gli interventi siano organizzati in modo da aprire un numero inferiore di giorni, nei quali si satura il tempo a disposizione. In alcuni casi, il numero di interventi pianificati si riduce (Tabelle 3.5, 3.4 e 3.6 vedere obj_1) come se l'algoritmo reputasse controproducente aprire la sala solo per un intervento. Per superarlo, sarebbe sufficiente inserire un peso ai vari contributi della funzione obiettivo. In realtà non è un errore: nel momento in cui si danno in input un maggior numero di interventi, come avviene in una situazione di reale utilizzo, l'algoritmo aprirà la sala un giorno in più. Per esempio per la seconda istanza si ha una riduzione di tre interventi e di sei giorni lavorativi. In questo modo si evitano giornate come giorno 2 e giorno 9 per urologia, che hanno una percentuale di utilizzo inferiore al 20% (Tabella 3.7).

I valori delle componenti della funzione obiettivo relative all'ordinamento dei pazienti (Tabelle 3.5, 3.4 e 3.6 vedere obj_3 e obj_4) sono drasticamente diverse per i due algoritmi implementati e cioè è legato al come essi sono stati concepiti. Per l'algoritmo in 2 step nella seconda parte si considerano solo gli interventi effettivamente selezionati ogni giorno, meno rispetto alla totalità, e quindi nel contare "di quanti posti i pazienti prioritari sono avanti rispetto agli altri interventi" il totale è più basso. Introducendo delle variabili nell'algoritmo a 1 step che ricalcano questa idea, dopo aver terminato l'ottimizzazione, si ottengono valori numericamente confrontabili (dello stesso ordine di grandezza), tuttavia resta non chiaro quale sia il migliore: infatti, il risultato è legato al numero di interventi che sono selezionati ogni giorno, e che potrebbe differire tra i due.

Tra le quattro possibilità si sceglie l'algoritmo in un unico step che considera il numero di giorni in cui viene aperta la sala in modo da massimizzare l'apertura media della sala, che è così pari all'86,96%. Si lavora poi ulteriormente sulla funzione obiettivo, applicando dei pesi ai vari contributi che la costituiscono. Infatti, come si è potuto osservare, obj_3 e obj_4 hanno valori di tre ordini di grandezza superiori rispetto ai primi due. Volendo dar maggior peso alla volontà di massimizzare il numero di interventi inseriti, si moltiplica

Tabella 3.4: Valori della funzione obiettivo per istanza 2

II istanza							
	obj ₁	obj ₂	obj ₃	obj ₄	f. obj	max	gap
1 step	89	(21)	2925	1350	4364	-	-
2 step	90	(21)	56	30	176	-	-

II istanza (ap_sala)							
	obj ₁	obj ₂	obj ₃	obj ₄	f. obj	max	gap
1 step	86	15	2925	1350	4346	-	-
2 step	90	21	58	27	159	-	-

Tabella 3.5: Valori della funzione obiettivo per istanza 1

I istanza							
	obj ₁	obj ₂	obj ₃	obj ₄	f. obj	max	gap
1 step	102	(21)	2790	2000	4892	-	-
2 step	99	(21)	43	51	193	-	-

I istanza (ap_sala)							
	obj ₁	obj ₂	obj ₃	obj ₄	f. obj	max	gap
1 step	102	20	2790	2003	4875	-	-
2 step	99	21	37	51	170	-	-

Tabella 3.6: Valori della funzione obiettivo per istanza 3

III istanza							
	obj ₁	obj ₂	obj ₃	obj ₄	f. obj	max	gap
1 step	93	(20)	4235	1201	5529	-	-
2 step	93	(20)	84	39	216	-	-

III istanza (ap_sala)							
	obj ₁	obj ₂	obj ₃	obj ₄	f. obj	max	gap
1 step	93	20	4235	1201	5509	-	-
2 step	92	20	82	42	198	-	-

Tabella 3.7: Percentuali di utilizzo della sala operatoria con istanza 2

giorno	specialità	attuale	1 step	1 step_ap	2 step	2step_ap
1	ORL	122	100	100	100	100
	URO	111	29,17	0	0	0
	GIN	-	-	-	-	-
	OCU	-	-	-	-	-
2	ORL	-	-	-	-	-
	URO	98	17,65	90,19	0	95,1
	GIN	105	97,22	88,89	66,67	91,67
	OCU	-	-	-	-	-
3	ORL	95,8	100	97,22	94,44	100
	URO	102	69,44	0	0	94,44
	GIN	-	-	-	-	-
	OCU	-	-	-	-	-
4	ORL	-	-	-	-	-
	URO	105,9	66,67	100	0	90,2
	GIN	125	80,56	100	100	77,78
	OCU	84,72	91,67	97,22	38,89	97,22
5	ORL	-	-	-	-	-
	URO	100	44,44	0	69,44	0
	GIN	-	-	-	-	-
	OCU	77,78	86,11	69,44	94,44	97,22
8	ORL	104,16	100	91,67	100	97,22
	URO	102,78	41,67	0	86,11	0
	GIN	-	-	-	-	-
	OCU	-	-	-	-	-
9	ORL	-	-	-	-	-
	URO	100	9,8	88,23	96,08	91,18
	GIN	97,22	100	97,22	94,44	94,44
	OCU	-	-	-	-	-
10	ORL	104,17	100	100	100	97,22
	URO	116,7	77,78	0	100	0
	GIN	-	-	-	-	-
	OCU	-	-	-	-	-
11	ORL	-	-	-	-	-
	URO	-	-	-	-	-
	GIN	116,7	100	91,67	97,22	94,44
	OCU	108,3	75	100	97,22	38,89
12	ORL	-	-	-	-	-
	URO	102,78	90,28	91,67	94,44	0
	GIN	-	-	-	-	-
	OCU	101,4	77,78	0	100	97,22

obj_1 per un fattore di scala opportuno, così come obj_2 (più piccolo). In questo modo si arriva ad aggiungere un intervento nella programmazione e ad avere un'occupazionalità della sala pari al 94,00%.

3.6 Conclusioni

Dopo aver modellizzato il problema di schedulazione automatica degli interventi, avendo osservato le sue dimensioni ridotte, si è supposto di poter utilizzare un approccio esatto per la sua soluzione. Seguendo la letteratura, e in particolare Cardoen [13] è stato implementato l'algoritmo in due step. Una strutturazione di questo tipo tuttavia non permette di valutare effettivamente tutte le possibili soluzioni, infatti, l'ordinamento degli interventi dipende dalla scelta degli stessi, che viene fatta in una fase precedente e non è più modificabile. Una situazione di questo tipo potrebbe quindi non dare alcuna soluzione ammissibile: una strategia per migliorare l'algoritmo potrebbe essere la possibilità, in caso il problema non dia soluzioni, di tornare alla fase precedente, rendere non ammissibile la soluzione corrente e ricalcolare una nuova soluzione ottima, tuttavia questo sistema non è detto vada a convergenza. Essendo le dimensioni del problema per questa struttura ridotte, si è scelto di risolverlo in un unico step, considerando la scelta degli interventi, il loro ordinamento e tutti i vincoli ad essi associati insieme.

Ricapitolando, l'algoritmo in un solo step è un metodo esatto che permette di considerare la problematica di pianificazione del blocco operatorio nel suo complesso. Invece l'algoritmo in due step considera gli aspetti di pianificazione e ordinamento come separati, ramificandosi in più sottoproblemi di ottimizzazione di piccole dimensioni che possono essere risolti in modo molto veloce. Infatti, quest'ultimo offre una soluzione in pochi secondi, mentre il primo, computazionalmente più oneroso, impiega qualche minuto. Essendo tuttavia un programma automatico che deve funzionare al massimo una volta al giorno, si può asserire che vada ugualmente bene. Questo discorso ha validità per le strutture ospedaliere medio piccole, le quali hanno dimensioni paragonabili con il presidio ospedaliero di Ciriè, ossia cinque sale operatorie e poche specialità. Nel momento in cui ci si sposta verso organizzazioni più ampie, aventi anche quindici sale operatorie e volumi di interventi due o tre volte maggiori, il numero di variabili in gioco cresce al punto che un metodo esatto non è più in grado di offrire una soluzione in tempi ragionevoli. L'uso delle euristiche può venire in aiuto in questo senso e diversi sono stati gli approcci utilizzati dai ricercatori: vagliando la letteratura si sono incontrati spesso gli algoritmi genetici.

Nella soluzione di un problema NP-hard due sono le alternative: cercare l'ottimo o approssimarlo. La prima è relativa all'uso degli algoritmi esatti che, mediante tecniche di enumerazione implicita, esplorano per intero lo spazio delle soluzioni e garantiscono di trovare la soluzione migliore in assoluto. Quando invece si approssima l'ottimo, si sta facendo uso di tecniche euristiche, che garantiscono di trovare la soluzione in tempi ragionevoli. Recentemente, nell'idea di esaltare i vantaggi di entrambi gli approcci, sono nate delle tecniche ibride, che vanno sotto il nome di mateuristiche. Attualmente non esiste una classificazione in questo ambito: non presentano una struttura definita a priori, ma le si possono costruire in modo diverso. Una possibilità [??] considera di applicare una metaeuristica per generare una soluzione di partenza, successivamente raffinata mediante tecniche esatte. Infatti, trovata la soluzione, si applica un processo iterativo che prevede una finestra scorrevole, la quale seleziona solo alcune variabili decisionali e risolve all'ottimo il problema con queste, mentre le altre mantengono lo stesso valore della soluzione corrente. La finestra è ottenuta aggiungendo vincoli al problema, quindi limita lo spazio delle soluzioni e rende possibile l'uso di tecniche esatte. Tipicamente un problema

con vincoli rigidi può portare a finestre di dimensioni più elevate perché essi tendono a ridurre maggiormente la regione di fattibilità dei sottoproblemi, mentre i problemi con vincoli morbidi possono richiedere un tempo di calcolo maggiore per essere esplorati a fondo. [NPANOR]. Nel caso in analisi, si potrebbe fare il medesimo: dopo aver generato una soluzione ammissibile buona abbastanza, si potrebbe migliorare andando a lavorare separatamente su ogni singolo giorno, per vedere se è possibile aggiungere interventi e migliorare il loro ordine.

Appendice

Appendice A

Process modelling

Process modelling La rappresentazione dei processi non é facile e necessita di strumenti di tipo grafico: vari diagrammi sono stati sviluppati e applicati per assistere l'utente nella comprensione di come le risorse (comprendendo anche le persone) interagiscano tra loro per raggiungere un risultato. Differenti aspetti del processo possono essere modellizzati con differenti metodi, ossia diversi diagrammi, e per ogni aspetto ne esistono più di uno.

La modellizzazione di un processo può avere scopi diversi:

- documentare un investimento
- individuare le debolezze di un sistema
- valutare i miglioramenti fatti in un sistema
- comunicare con uno stakeholder e guadagnare consenso
- supportare l'automazione dei processi
- facilitare l'onboarding di nuovi impiegati
- soddisfare le esigenze di conformità normativa

É necessario riuscire a individuare, data la grande disponibilità di strumenti che coprono tutti i fabbisogni, la metodologia più opportuna per rappresentare i processi. Un insieme comodo per la rappresentazione di un sistema comprende: synopsis diagram, workflow diagram e swimlane diagram.

A.1 Workflow diagram

Il workflow diagram illustra quali siano le varie attività in modo generale (sono quindi macro-attività) e l'evoluzione dello stato di un sistema a causa di queste. Il livello di dettaglio è una scelta personale che dipende anche dal tipo di processo che viene rappresentato, ma come regola arrivare a una descrizione particolareggiata delle attività non è conveniente perché si rischia di avere dei diagrammi enormi non facilmente utilizzabili.

Si compone di due elementi principali: *place* e *transition*. I primi sono elementi tondi che rappresentano gli stati, mentre i secondi sono rettangoli che rappresentano le attività. È necessario dare un'etichetta (una frase) ad ogni transition che descriva l'attività; invece non sempre è possibile dare un nome allo stato perché non è facile riassumerlo in una o due parole, per cui lo si lascia senza nome a meno che non sia particolarmente importante. Non ci possono essere due stati in successione perché non si possono avere due stati diversi

Tabella A.1: Strutture rappresentabili con un workflow

Nome	Descrizione	Modello
<i>Sequenza</i>	Le attività sono portate avanti una dopo l'altra (in sequenza)	
<i>Selezione</i>	A seconda dei dati e del percorso precedente alcune attività possono essere svolte o meno (OR)	
<i>Parallelo</i>	Le attività sono portate avanti insieme e non hanno un ordine preciso (AND)	
<i>Ciclo repeat...until</i>	le attività vengono svolte almeno una volta e sono ripetute fino a che non si verifica una certa condizione	
<i>Ciclo while...do</i>	Il ciclo potrebbe non essere mai eseguito perchè si potrebbero verificare le condizioni che portano fuori fuori	

senza che qualcosa abbia determinato il cambiamento e non devono esserci due transizioni consecutive perché in mezzo il sistema comunque avrà cambiato stato. Per questo motivo qualunque workflow inizia e finisce con un place.

Per la rappresentazione dei sistemi ci sono tre strutture possibili: sequenza, selezione e ciclo, che sono spiegate in tabella A.1. Solitamente il ciclo è indicato come macro-attività e poi dettagliato in un diagramma a parte.

Ci sono delle attività che possono partire solo se si verifica una certa condizione o trigger. Ce ne sono di tre tipi:

- risorsa che si prende carico di quella attività, rappresentato con una freccia verso il basso
- evento esterno, rappresentato da una busta
- evento legato a un certo tempo, rappresentato da un orologio

A.2 Swimlane activity diagram

Lo swimlane activity diagram permette di entrare più nel dettaglio rispetto al precedente perché si sviluppa per colonne per cui è più leggibile. Rispetto ad altri diagrammi ha due vantaggi:

- identificare “chi fa che cosa”: ogni colonna identifica un attore e quindi man mano che gli attori vengono inclusi nel flusso delle attività, ci si sposta tra le colonne
- rappresentare azioni in parallelo: azioni svolte contemporaneamente da attori diversi o azioni che non hanno un ordine preciso (forza un ordinamento sarebbe una rappresentazione errata del sistema)

Se ci fossero delle azioni che possono essere fatte tanto da un attore quanto da un altro, due sono le possibilità: creare dei gruppi di attori e assegnare ad essi una colonna specifica oppure mettere l'azione a cavallo di due colonne (più difficile da leggere)

Questo diagramma ha un inizio, indicato con uno start o con un cerchio, e può avere una o più fini. Infatti, se ci sono delle terminazioni molto distanti in termini di numero di attività che le separano, si possono mettere più fini in modo da evitare un numero eccessivo di linee che si ricongiungono.

Le varie strutture dei processi sono:

- selezione: rappresentata con un rombo
- parallelo: rappresentata da barre piene che prendono il nome di split e join. Possono essere messe a cavallo di colonne in modo da indicare che le attività in parallelo sono svolte da persone diverse

Appendice B

Modelli di programmazione lineare intera

Sovente le applicazioni della Ricerca Operativa possono essere formulate mediante l'uso di modelli di programmazione lineare.

I *modelli di programmazione matematica* sono “modelli che descrivono le caratteristiche della soluzione ottima di un problema di ottimizzazione attraverso relazioni matematiche” [De Giovanni]. Sono composti da:

- *Insiemi*: raggruppano gli elementi del sistema
- *Parametri*: rappresentano delle quantità fissate che dipendono dagli elementi del sistema
- *Variabili decisionali*: dette anche di controllo, sono le incognite e su di esse si agisce per determinare le possibili soluzioni del problema. Nel momento in cui si conosce il loro valore, si può immediatamente dire se la soluzione sia ammissibile e quale sia il valore della funzione obiettivo
- *Vincoli*: relazioni matematiche che descrivono le condizioni di ammissibilità delle soluzioni, i requisiti che devono avere. Sono espresse mediante uguaglianze e disuguaglianze delle variabili
- *Funzione obiettivo*: è funzione delle variabili decisionali ed è la quantità da massimizzare (in ambito economico assume significato di profitto) o minimizzare (costo)

Si può osservare come vengano dichiarate le caratteristiche della soluzione cercata, piuttosto che definire la strategia per la ricerca della soluzione stessa.

La risoluzione di un problema di ottimizzazione formulato con un modello di programmazione matematica consiste nella determinazione dei valori delle variabili che soddisfano tutti i vincoli e massimizzano o minimizzano il valore della funzione obiettivo. Solitamente, se è richiesta la massimizzazione di un profitto allora i vincoli esprimono limitazioni superiori sulle risorse; se invece è richiesta la minimizzazione di un costo, sono presenti vincoli che impongono limitazioni inferiori alle variabili. È possibile ci siano vincoli di continuità che hanno spesso la forma di vincoli di uguaglianza. La ricerca della soluzione può essere effettuata mediante appositi motori di ottimizzazione.

I *modelli di programmazione lineare* sono un sottoinsieme di quella classe che soddisfano due criteri: la funzione obiettivo è un'espressione lineare delle variabili decisionali e i vincoli sono determinati da un sistema di equazioni e/o disequazioni lineari. Inoltre, in

Tabella B.1: Tipologie di programmazione lineare e relativi esempi

programmazione lineare	$\begin{aligned} \min (cx) \\ \text{s.t. } Ax \leq b \\ x \geq 0 \end{aligned}$
programmazione lineare intera	$\begin{aligned} \min (cx) \\ \text{s.t. } Ax \leq b \\ x \in Z^n \end{aligned}$
programmazione lineare binaria	$\begin{aligned} \min (cx) \\ \text{s.t. } Ax \leq b \\ x \in \{0, 1\}^n \end{aligned}$
programmazione lineare mista	$\begin{aligned} \min (c_1x + c_2y + c_3z) \\ \text{s.t. } A \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \leq b \\ x \geq 0 \\ y \in Z^n \\ z \in \{0, 1\}^n \end{aligned}$

base al dominio delle variabili decisionali si ha un'ulteriore classificazione in programmazione lineare continua e discreta. Una descrizione più approfondita è presentata in tabella B.1.

La formulazione generale è la seguente:

$$\begin{aligned} \min (\max) z &= c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_jx_j + \dots + c_nx_n \\ a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1j}x_j + \dots + a_{1n}x_n &\geq (=, \leq) b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2j}x_j + \dots + a_{2n}x_n &\geq (=, \leq) b_2 \\ &\dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mj}x_j + \dots + a_{mn}x_n &\geq (=, \leq) b_m \\ x_j &\in R_+ (x_j \in Z_+) \quad \forall j = 1 \dots n \end{aligned}$$

dove $x_1, \dots, x_j, \dots, x_n$ sono le variabili decisionali, $c_1, \dots, c_j, \dots, c_n$ sono i coefficienti di costo/profitto nella funzione obiettivo che minimizza/massimizza il problema, $b_1, \dots, b_i, \dots, b_m$ sono i termini noti (lato destro dell'insieme dei vincoli) e $a_{11}, \dots, a_{ij}, \dots, a_{mn}$ sono i coefficienti tecnologici che moltiplicano le variabili nei vincoli.

I problemi di ottimizzazione lineare discreta sono più complessi da risolvere, ma al tempo stesso sono uno strumento molto efficace per la modellazione di problemi reali. Risolvendo un problema di questo tipo con la programmazione lineare e arrotondando in

tutti i modi possibili la soluzione in modo da ottenere soluzioni intere, non è detto che si possa raggiungere la miglior soluzione intera e in alcuni casi non si riesce nemmeno a trovare una soluzione ammissibile. È opportuno però notare che, soprattutto nel caso in cui i valori delle variabili sono nell'ordine delle centinaia o ancora più grandi, la differenza ottenuto con questo approccio e la migliore soluzione intera è tipicamente molto piccola rispetto alle grandezze in gioco. Esistono poi metodi specifici, che però sono in generale notevolmente più complessi dal punto di vista computazionale.

Appendice C

Metodo del branch and bound

Il branch and bound è un metodo che può essere applicato ai problemi di ottimizzazione combinatoria, nei quali rientra la programmazione lineare intera. Si tratta di un metodo esatto che implementa un sistema di enumerazione efficiente, garantendo di sveltire la valutazione della funzione obiettivo per tutte le possibili soluzioni di un problema.

Dato un problema di ottimizzazione combinatoria $z = \max (\min) \{f(x) : x \in X\}$ e data una suddivisione della regione ammissibile X in insiemi $X_1, \dots, X_n : \bigcup_{i=1}^n X_i = X$, sia $z^{(k)} = \max (\min) \{f(x) : x \in X_k\}$, Allora la soluzione del problema $z = \max (\min)_{k=1, \dots, n} z^{(k)}$

In pratica questo metodo prevede di suddividere l'insieme delle soluzioni ammissibili in sottogruppi (solitamente a ogni livello si divide in due) e risolvere il problema su ogni sottoinsieme. In modo ricorsivo ogni sottoinsieme viene a sua volta suddiviso, e si ottiene un albero delle soluzioni ammissibili C.1. Considerando come radice il problema originale, se si svolgesse un'esplosione completa, ossia si arrivasse fino alle foglie, essere conterebbero ognuna una soluzione ammissibile e quindi sarebbe come aver enumerato con forza bruta.

Sono diverse le strategie di *branching* che possono essere applicate, le quali però devono sempre dare sottoinsiemi disgiunti (aventi intersezione nulla), la cui unione deve corrispondere all'insieme di partenza in modo da non perdere soluzioni. Generato lo spazio delle soluzioni, occorre esplorarlo in modo efficiente, attraverso una tecnica che permetta di esplorare solo aree "buone" della regione ammissibile. Per escludere alcuni insiemi a priori è sufficiente per ogni nodo fare una valutazione ottimistica (*bound*) del valore funzione obiettivo delle soluzioni che vi afferiscono. Se si conosce una soluzione

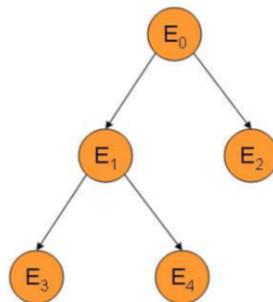


Figura C.1: Generazione delle soluzioni mediante l'operazione di Branch

ammissibile e il valore della sua funzione obiettivo, sarà possibile tagliare quei nodi che hanno un bound inferiore (e tutti i figli di conseguenza). La ricerca del bound deve utilizzare solo una descrizione implicita delle caratteristiche delle soluzioni, garantire tempi rapidi per non perdere in termini di tempo computazionale e infine deve essere un valore il più stringente possibile, ma sempre ottimistico. Si osserva che per un problema di minimizzazione si avrà un lower bound, ossia una valutazione ottimistica del valore della funzione obiettivo minimo che le soluzioni di quel gruppo possono dare, invece in caso di massimizzazione sarà un upper bound.

Ricapitolando il branch & bound prevede due fasi:

- *branch*: meccanismo di ripartizione e ramificazione che permette di generare uno spazio delle soluzioni avente struttura ad albero. I nodi figli sono costruiti per partizione di un nodo padre
- *bound*: esplorazione efficiente dello spazio delle soluzioni mediante una enumerazione implicita di tutte le soluzioni del problema, calcolando un valore limite per la funzione obiettivo

Il funzionamento di questa strategia è iterativo: ad ogni step si seleziona un sottoinsieme candidato, si calcola il bound e si decide se esso debba essere ulteriormente partizionato ed esaminato oppure possa essere eliminato. Le regole di “potatura” dell’albero, o *fathoming*, prevedono di eliminare un nodo se si verifica uno dei seguenti casi:

- la valutazione ottimistica al nodo non è migliore del valore della funzione obiettivo della soluzione ammissibile nota migliore corrente
- la valutazione ottimistica è una soluzione ammissibile del problema. Essendo questa migliore di tutte quelle appartenenti allo stesso gruppo, queste ultime possono essere eliminate. La restante è confrontata con la soluzione ammissibile nota migliore corrente e, se ha un valore della funzione obiettivo più alto, allora diventa la nuova soluzione ammissibile migliore corrente
- al nodo corrisponde un insieme vuoto, ossia non ci sono soluzioni ammissibili

Se non si verifica nessuna di queste condizioni il sottoinsieme (sottoproblema) esaminato viene a sua volta partizionato in due o più sottoinsiemi (sottoproblemi), che vengono aggiunti alla lista dei candidati. La procedura si itera fino a quando non ci sono più sottoinsiemi (sottoproblemi) da esplorare. La migliore soluzione ammissibile trovata costituisce la soluzione ottima del problema originario.

C.1 B&B per problemi di programmazione lineare intera

Nel caso di problemi di programmazione lineare intera la regola di branch e la definizione del bound sono facilmente deducibili introducendo il concetto di rilassamento lineare: definizione di un problema di programmazione lineare identico a quello originale, ma senza i vincoli di interezza delle variabili. Il massimo valore della funzione obiettivo del PL è maggiore o uguale al massimo valore della funzione obiettivo del PLI quindi può essere definito il suo upper bound. Per la regola di branching si fa riferimento alla soluzione ottima del problema PL. Si considera una variabile che ha componente frazionaria non nulla e si esegue un branching binario in modo che nei due sotto problemi essa sia minore della sua parte intera o maggiore della sua parte intera C.2. Se la soluzione ha più variabili

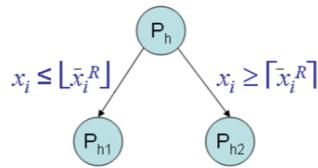


Figura C.2: Operazione di branching

frazionarie, si può dare la precedenza a quella che ha la variabile frazionaria più prossima a 0,5.

Dei due sotto problemi ottenuti si calcola il rilassamento lineare per recuperare i bounds: se inferiore viene eliminato. Si guarda poi alla soluzione: se intera, allora è anche la migliore soluzione intera dell'insieme e la si confronta con la migliore corrente, per vedere se eliminarla o renderla la nuova corrente. Se almeno una variabile è frazionaria, si continua con il branching. Una volta che sono stati potati tutti i nodi, quindi non ci sono più problemi attivi, la soluzione intera corrente è anche la migliore possibile e risolve il problema originale.

In altre parole quando si risolve il rilassamento lineare del problema si ottiene una delle seguenti possibilità:

- se LP non ha soluzione ammissibile, allora anche il problema iniziale non ne ha
- se LP ha una soluzione ammissibile, ma alcuni dei vincoli di integrità non sono soddisfatti, allora il MIP non ha ancora soluzione
- se LP ha una soluzione ammissibile e tutti i vincoli di integrità sono soddisfatti (tutte le variabili decisionali della soluzione sono intere), allora il MIP ha soluzione
- LP non ha limiti

I casi a) e c) che sono risolti, mentre il caso b) richiede di individuare quale sia il vincolo di integrità non soddisfatto e di riapplicare il branching. I nodi figli che si ottengono avranno gli stessi vincoli del nodo genitore più un ulteriore vincolo di disuguaglianza. Quindi, considerando due rilassamenti LP dei quali uno è genitore e l'altro figlio, quest'ultimo non può avere una funzione obiettivo con valore maggiore del primo, al massimo uguale.

Bibliografia

- [5] Vanni Agnoletti et al. “Operating room data management: improving efficiency and safety in a surgical block”. In: (2013).
- [6] I. Ajmi et al. “Mapping patient flow in the Jeanne de Flandres Hospital’s operating rooms”. In: (2014), pp. 1–5. ISSN: 1946-0740. DOI: 10.1109/ETFA.2014.7005054.
- [7] Stepaniak PSVrijland WWde Quelerij M et al. “Working with a fixed operating room team on consecutive similar cases and the effect on case duration and turnover time.” In: *Arch Surg* 145 (2010), pp. 1165–1170.
- [8] Gayed B et al. “Redesigning a joint replacement program using lean six sigma in a veterans affairs hospital”. In: *JAMA Surgery* 148.11 (2013), pp. 1050–1056. DOI: 10.1001/jamasurg.2013.3598. eprint: /data/journals/surg/928836/soi130082.pdf. URL: +%20http://dx.doi.org/10.1001/jamasurg.2013.3598.
- [9] Simone Barbagallo et al. “Optimization and planning of operating theatre activities: an original definition of pathways and process modeling”. In: *BMC Medical Informatics and Decision Making* 15.1 (mag. 2015), p. 38. ISSN: 1472-6947. DOI: 10.1186/s12911-015-0161-7. URL: <https://doi.org/10.1186/s12911-015-0161-7>.
- [10] Murray V. Calichman. “Creating an Optimal Operating Room Schedule”. In: *AORN Journal* 81.3 (2005), pp. 580–588. ISSN: 0001-2092. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0001-2092\(06\)60442-0](https://doi.org/10.1016/S0001-2092(06)60442-0). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001209206604420>.
- [11] Brecht Cardoen. “Operating room planning and scheduling: solving a surgical case sequencing problem”. In: *JOR* 8.1 (mar. 2010), pp. 101–104. ISSN: 1614-2411. DOI: 10.1007/s10288-009-0106-z. URL: <https://doi.org/10.1007/s10288-009-0106-z>.
- [12] Brecht Cardoen e Erik Demeulemeester. “Capacity of Clinical Pathways—A Strategic Multi-level Evaluation Tool”. In: *Journal of Medical Systems* 32.6 (dic. 2008), pp. 443–452. ISSN: 1573-689X. DOI: 10.1007/s10916-008-9150-z. URL: <https://doi.org/10.1007/s10916-008-9150-z>.
- [13] Brecht Cardoen, Erik Demeulemeester e Jeroen Beliën. “Operating room planning and scheduling: A literature review”. In: *European Journal of Operational Research* 201.3 (2010), pp. 921–932. ISSN: 0377-2217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.04.011>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221709002616>.

- [14] Brecht Cardoen, Erik Demeulemeester e Jeroen Beliën. “Optimizing a multiple objective surgical case sequencing problem”. In: *International Journal of Production Economics* 119.2 (2009), pp. 354–366. ISSN: 0925-5273. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.03.009>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527309000887>.
- [15] Brecht Cardoen, Erik Demeulemeester e Jessie Van der Hoeven. “On the use of planning models in the operating theatre: results of a survey in Flanders”. In: *The International Journal of Health Planning and Management* 25.4 (), pp. 400–414. DOI: 10.1002/hpm.1027. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/hpm.1027>. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hpm.1027>.
- [16] Nino Cartabellotta et al. “Secondo Rapporto GIMBE sulla sostenibilità del Servizio Sanitario Nazionale”. In: *Fondazione GIMBE* (2017). URL: <http://www.rapportogimbe.it>.
- [17] Robert R. Cima et al. “Use of Lean and Six Sigma Methodology to Improve Operating Room Efficiency in a High-Volume Tertiary-Care Academic Medical Center”. In: *Journal of the American College of Surgeons* 213.1 (2011), pp. 83–92. ISSN: 1072-7515. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2011.02.009>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1072751511001232>.
- [18] Ryan M. Collar et al. “Lean Management in Academic Surgery”. In: *Journal of the American College of Surgeons* 214.6 (2012), pp. 928–936. ISSN: 1072-7515. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2012.03.002>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1072751512001974>.
- [19] Jami Dellifraime, James Langabeer e Ingrid M Nembhard. “Assessing the Evidence of Six Sigma and Lean in the Health Care Industry”. In: 19 (lug. 2010), pp. 211–25.
- [20] Franklin Dexter, Stacy Coffin e John H. Tinker. “Decreases in Anesthesia-Controlled Time Cannot Permit One Additional Surgical Operation to Be Reliably Scheduled During the Workday”. In: 81 (gen. 1996), pp. 1263–8.
- [21] Franklin Dexter e Richard H. Epstein. “Typical savings from each minute reduction in tardy first case of the day starts.” In: *Anesthesia and analgesia* 108 4 (2009), pp. 1262–7.
- [22] Berwick DM e Hackbarth AD. “Eliminating waste in us health care”. In: *JAMA* 307.14 (2012), pp. 1513–1516. DOI: 10.1001/jama.2012.362. eprint: /data/journals/jama/23310/jsc25001_1513_1516.pdf. URL: <http://dx.doi.org/10.1001/jama.2012.362>.
- [23] H. Fei et al. “Solving surgical cases assignment problem by a branch-and-price approach”. In: *International Journal of Production Economics* 112.1 (2008), pp. 96–108. ISSN: 0925-5273. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.08.030>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527307001296>.
- [24] Tamas Fixler e James Wright. “Identification and use of operating room efficiency indicators: The problem of definition”. In: 56 (ott. 2013), E104.
- [25] Policlinico di Tor Vergata Fondazione PTV. “REGOLAMENTO ORGANIZZATIVO DEI BLOCCHI OPERATORI”. In: (). URL: http://www.ptvonline.it/file_allegati/trasparenza/com-az/040817.pdf.

- [26] John A. Giroto, Peter F. Koltz e George Drugas. “Optimizing your operating room: Or, why large, traditional hospitals don’t work”. In: *International Journal of Surgery* 8.5 (2010), pp. 359–367. ISSN: 1743-9191. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2010.05.002>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1743919110000804>.
- [27] Francesca Guerriero e Rosita Guido. “Operational research in the management of the operating theatre: a survey”. In: *Health Care Management Science* 14.1 (mar. 2011), pp. 89–114. ISSN: 1572-9389. DOI: 10.1007/s10729-010-9143-6. URL: <https://doi.org/10.1007/s10729-010-9143-6>.
- [28] Maureen Harders et al. “Improving operating room efficiency through process redesign”. In: *Surgery* 140.4 (2006), pp. 509–516. ISSN: 0039-6060. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surg.2006.06.018>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0039606006003643>.
- [29] Cendán JC e Good M. “Interdisciplinary work flow assessment and redesign decreases operating room turnover time and allows for additional caseload”. In: *Archives of Surgery* 141.1 (2006), pp. 65–69. DOI: 10.1001/archsurg.141.1.65. eprint: </data/journals/surg/9600/soa50020.pdf>. URL: <http://dx.doi.org/10.1001/archsurg.141.1.65>.
- [30] Charles W. Kimbrough et al. “Improved Operating Room Efficiency via Constraint Management: Experience of a Tertiary-Care Academic Medical Center”. In: *Journal of the American College of Surgeons* 221.1 (2015), pp. 154–162. ISSN: 1072-7515. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2015.02.032>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1072751515001908>.
- [31] Bhavani S. Kodali et al. “Successful strategies for the reduction of operating room turnover times in a tertiary care academic medical center”. In: *Journal of Surgical Research* 187.2 (2014), pp. 403–411. ISSN: 0022-4804. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2013.11.1081>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022480413021197>.
- [32] Mehdi Lamiri et al. “A stochastic model for operating room planning with elective and emergency demand for surgery”. In: *European Journal of Operational Research* 185.3 (2008), pp. 1026–1037. ISSN: 0377-2217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.057>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221706005832>.
- [33] Macario. “Are Your Hospital Operating Rooms “Efficient”? A Scoring System with Eight Performance Indicators”. In: *Anesthesiology* 105.2 (2006), pp. 237–240. URL: <http://dx.doi.org/>.
- [34] S.E. Mason, C.R. Nicolay e A. Darzi. “The use of Lean and Six Sigma methodologies in surgery: A systematic review”. In: *The Surgeon* 13.2 (2015), pp. 91–100. ISSN: 1479-666X. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surge.2014.08.002>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1479666X14001024>.
- [35] Catherine A McIntosh, Franklin Dexter e Richard H. Epstein. “The impact of service-specific staffing, case scheduling, turnovers, and first-case starts on anesthesia group and operating room productivity: a tutorial using data from an Australian hospital.” In: *Anesthesia and analgesia* 103 6 (2006), pp. 1499–516.

- [36] C. R. Nicolay et al. “Systematic review of the application of quality improvement methodologies from the manufacturing industry to surgical healthcare”. In: *BJS* 99.3 (), pp. 324–335. DOI: 10.1002/bjs.7803. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/bjs.7803>. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bjs.7803>.
- [37] C. R. Nicolay et al. “Systematic review of the application of quality improvement methodologies from the manufacturing industry to surgical healthcare”. In: *BJS* 99.3 (), pp. 324–335. DOI: 10.1002/bjs.7803. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/bjs.7803>. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bjs.7803>.
- [38] C. R. Nicolay et al. “Systematic review of the application of quality improvement methodologies from the manufacturing industry to surgical healthcare”. In: *BJS* 99.3 (), pp. 324–335. DOI: 10.1002/bjs.7803. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/bjs.7803>. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bjs.7803>.
- [39] Gerard C. Niemeijer et al. “The usefulness of lean six sigma to the development of a clinical pathway for hip fractures”. In: *Journal of Evaluation in Clinical Practice* 19.5 (), pp. 909–914. DOI: 10.1111/j.1365-2753.2012.01875.x. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1365-2753.2012.01875.x>. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2753.2012.01875.x>.
- [40] S. Noyan Ogulata e Rizvan Erol. “A Hierarchical Multiple Criteria Mathematical Programming Approach for Scheduling General Surgery Operations in Large Hospitals”. In: *Journal of Medical Systems* 27.3 (giu. 2003), pp. 259–270. ISSN: 1573-689X. DOI: 10.1023/A:1022575412017. URL: <https://doi.org/10.1023/A:1022575412017>.
- [41] Taiichi Ōno e Norman Bodek. “Toyota production system : beyond large-scale production”. In: (1988).
- [42] Irem Ozkarahan. “Allocation of Surgeries to Operating Rooms by Goal Programming”. In: *Journal of Medical Systems* 24.6 (dic. 2000), pp. 339–378. ISSN: 1573-689X. DOI: 10.1023/A:1005548727003. URL: <https://doi.org/10.1023/A:1005548727003>.
- [43] Patterson P. “What makes a well-oiled scheduling system?” In: *OR Manager* 12.9 (1996), pp. 19–23.
- [44] David H. Rothstein e Mehul V. Raval. “Operating room efficiency”. In: *Seminars in Pediatric Surgery* 27.2 (2018). The Perioperative Experience, pp. 79–85. ISSN: 1055-8586. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.sempedsurg.2018.02.004>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1055858618300040>.
- [45] Warren S. Sandberg M.D. et al. “Deliberate Perioperative Systems Design Improves Operating Room Throughput”. In: *Anesthesiology* 103.2 (2005), pp. 406–418.
- [46] Rosemary Sayvong e Joanne Curry. “Patient Journey Modelling As a Policy Mapping Method: Enhancing the Understanding of Policy Analysis”. In: *ACSW ’16* (2016), 61:1–61:6. DOI: 10.1145/2843043.2843387. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2843043.2843387>.

- [47] Sandberg Warren S. Seim Andrea Meyer Makr. “Does Parallel Workflow Impact Anesthesia Quality?” In: *AMIA Annual Symposium Proceedings 2005* (2005). ISSN: 1942-597X.
- [48] T. J. Sieber e D. L. Leibundgut. “Operating room management and strategies in Switzerland: results of a survey”. In: *European Journal of Anaesthesiology* 19.6 (2002), pp. 415–423. DOI: 10.1017/S0265021502000662.
- [49] Nigel Slack. “The Blackwell Encyclopedic Dictionary of Operations Management”. In: *Blackwell* (1997).
- [50] James E. Stahl et al. “Reorganizing patient care and workflow in the operating room: a cost-effectiveness study”. In: *Surgery* 139.6 (2006), pp. 717–728. ISSN: 0039-6060. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surg.2005.12.006>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0039606006000304>.
- [51] Peter T. VanBerkel e John T. Blake. “A comprehensive simulation for wait time reduction and capacity planning applied in general surgery”. In: *Health Care Management Science* 10.4 (dic. 2007), pp. 373–385. ISSN: 1572-9389. DOI: 10.1007/s10729-007-9035-6. URL: <https://doi.org/10.1007/s10729-007-9035-6>.
- [52] Peter T. VanBerkel e John T. Blake. “A comprehensive simulation for wait time reduction and capacity planning applied in general surgery”. In: *Health Care Management Science* 10.4 (dic. 2007), pp. 373–385. DOI: 10.1007/s10729-007-9035-6. URL: <https://doi.org/10.1007/s10729-007-9035-6>.
- [53] Joshua R. Vest e Larry D. Gamm. “A critical review of the research literature on Six Sigma, Lean and StuderGroup’s Hardwiring Excellence in the United States: the need to demonstrate and communicate the effectiveness of transformation strategies in healthcare”. In: *Implementation Science* 4.1 (lug. 2009), p. 35. ISSN: 1748-5908. DOI: 10.1186/1748-5908-4-35. URL: <https://doi.org/10.1186/1748-5908-4-35>.
- [54] Stefano Villa, Anna Prenestini e Isabella Giusepi. “A framework to analyze hospital-wide patient flow logistics: Evidence from an Italian comparative study”. In: *Health Policy* 115.2 (2014), pp. 196–205. ISSN: 0168-8510. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2013.12.010>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016885101300331X>.
- [55] Ellen Joan van Vliet et al. “Efficacy and efficiency of a lean cataract pathway: a comparative study”. In: *BMJ Quality & Safety* 19.6 (2010), e13–e13. ISSN: 1475-3898. DOI: 10.1136/qshc.2008.028738. eprint: <https://qualitysafety.bmj.com/content/19/6/e13.full.pdf>. URL: <https://qualitysafety.bmj.com/content/19/6/e13>.
- [56] John H.T. Waldhausen et al. “Application of lean methods improves surgical clinic experience”. In: *Journal of Pediatric Surgery* 45.7 (2010), pp. 1420–1425. ISSN: 0022-3468. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2009.10.049>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022346809008471>.
- [57] Gerhard Wullink et al. “Closing Emergency Operating Rooms Improves Efficiency”. In: *Journal of Medical Systems* 31.6 (dic. 2007), pp. 543–546. ISSN: 1573-689X. DOI: 10.1007/s10916-007-9096-6. URL: <https://doi.org/10.1007/s10916-007-9096-6>.

Sitografia

- [1] URL: http://www.camera.it/leg17/561?appro=app_la_composizione_dei_finanziamenti_del_fabbisogno_sanitario_nazionale.
- [2] URL: http://www.quotidianosanita.it/lavoro-e-professioni/articolo.php?articolo_id=17770.
- [3] URL: http://www.impresasanita.it/it/articles/20180727desio_gestione_delle_sale_operatorie_in_real_time.
- [4] URL: <http://www.euro-online.org>.