

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

---

**SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA**

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e  
dell'Informazione «Guglielmo Marconi»

*CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA GESTIONALE*

**TESI DI LAUREA**

in

Laboratorio di Strumenti di Ottimizzazione

**Valutazione delle funzioni obiettivo nell'Operating Theatre  
Scheduling**

CANDIDATO  
Giovanni Fanin

RELATORE:  
Valentina Cacchiani

CORRELATORE/CORRELATORI  
Paolo Tubertini

Anno Accademico [2014/15]

Sessione I







# Indice

Introduzione .....	6
1. Situazione sanitaria italiana .....	6
1.1 Spese sanitarie .....	6
1.2 Liste di attesa .....	7
1.2.1 PNLGA .....	7
1.2.2 Mattone 6 - tempi di attesa .....	9
1.2.3 Diversi sistemi di priorità nelle liste di attesa .....	12
2. Modellizzazione del problema .....	13
2.1 Il software: IBM ILOG OPL .....	13
2.1.2 Il linguaggio di modellazione: OPL .....	13
2.1.3 La sintassi .....	14
2.2 Il modello matematico .....	16
2.2.1 Le variabili decisionali .....	17
2.2.2 La funzione obiettivo .....	18
3. Analisi dei pesi in funzione obiettivo .....	20
3.1 Letteratura .....	20
3.1.1 Metodo NAWD .....	20
3.1.2 Criteri di accesso alla priorità clinica .....	22
3.1.3 Tempi effettivi di attesa per interventi di chirurgia generale in relazione alla priorità clinica .....	23
3.2 Valutazione dei pesi: metodo AHP .....	26
3.3 Applicazione AHP al modello .....	29
3.3.1 L'età .....	29
3.3.2 Il codice asa .....	32
3.3.3 La classe di urgenza .....	33
3.4 Applicazione al modello .....	33
4. Risultati .....	38
4.1 Soluzioni alternative .....	45
5. Conclusioni .....	47
6. Bibliografia .....	48

## **Ringraziamenti**

Desidero ringraziare la Professoressa Cacchiani e il Professor Tubertini per l'attenzione con cui mi hanno seguito. La dottoressa Annarosa Fantozzi per la disponibilità concessa. Il dottor Coccolini per il grande interesse profuso e il tempo dedicatomi. Grazie a chiunque mi è stato vicino, come ha potuto, nei momenti di difficoltà e in quelli di felicità.

## **Introduzione**

Il fine della presente tesi è quello di porsi come sostegno all'attività di schedulazione di interventi nelle sale operatorie in una qualsiasi realtà ospedaliera, ottimizzando la gestione dei tempi di attesa a favore dei Sistemi Sanitari, ma soprattutto della comunità.

Il progetto di studio a cui fa capo il presente elaborato è nato con l'intento di costruire un modello innovativo dell'organizzazione e della pianificazione degli interventi chirurgici, in quanto nell'ambito sanitario impegnano un grosso quantitativo di risorse economiche. Nel corso degli anni si è rilevata una disfunzionalità della gestione delle sale operatorie, pertanto era necessario mettere mano a questo problema.

I principi di modellizzazione su cui si basa il presente progetto sono quelli della Ricerca Operativa, in particolare quelli dell'Operating Room Management Research (ORMresearch), studio che ha come obiettivo la riduzione degli sprechi economici pur offrendo un alto livello di qualità delle cure (1). Per fare ciò viene utilizzato un software che calcola i tempi necessari per ogni intervento chirurgico associando dati numerici reali a un modello matematico, il quale semplifica l'organizzazione dell'uso degli spazi delle sale operatorie.

Fondamentale per il progetto è stato l'approccio proposto nello studio (2), in cui Lodi e Tubertini hanno analizzato i processi clinici cercando una miglior gestione delle risorse e delle procedure, per migliorare l'offerta che un ospedale può dare ai propri clienti (Operating Theater Planning).

L'intenzione della presente tesi è quella di dare al software di ottimizzazione la capacità di interpretare matematicamente una lista di richieste di operazioni, che costituiscono la domanda a cui una struttura sanitaria deve fare fronte ad ogni singolo periodo di lavoro, in modo che possa generare una vera e propria lista di attesa. Per ottenere questo obiettivo si è condotta una ricerca per dare un peso ad ogni singolo paziente preso in carico dal modello. Questo peso deve essere direttamente proporzionale alla necessità e alla gravità del paziente che deve accedere alle prestazioni chirurgiche. Il peso verrà valutato andando ad unire le caratteristiche intrinseche della persona in un'equazione che valorizzi ogni fattore, consegnando poi al sistema un valore numerico per ciascun soggetto.

Nonostante si faccia riferimento a strumenti ingegneristici per risolvere problemi in ambito sanitario, è fondamentale ricordarsi che oggetto della “lavorazione” non è un pezzo grezzo, ma un essere umano. Io ritengo che le competenze ingegneristiche non siano di ostacolo all’umanizzazione e al rispetto del bisogno del paziente anzi possono valorizzarlo. Il presente lavoro è la dimostrazione che questo è possibile.

Qui di seguito sono sintetizzati gli argomenti trattati suddivisi per capitoli:

il capitolo 1 si occupa di presentare la situazione attuale del Sistema Sanitario Nazionale (SSN) a livello di spese e controllo delle liste di attesa

il capitolo 2 presenta il modello matematico usato nel progetto e illustra il software di IBM di cui si è fatto uso

il capitolo 3 illustra lo studio che è stato condotto a livello di assegnazione dei pesi ad ogni paziente partendo dall’osservazione di differenti modelli

nel capitolo 4 vengono descritti il funzionamento e i risultati del progetto

nel capitolo 5 vengono raccolte le conclusioni.

## **1. Situazione sanitaria italiana**

### **1.1 Spese sanitarie**

A partire dal 2001 con un decreto ministeriale è stato introdotto un profondo rinnovamento metodologico dei sistemi di contabilità economico-patrimoniale che ha coinvolto il Ministero della Salute. L'intento era rappresentare al meglio l'universo della sanità italiana, in vista dell'entrata in vigore della moneta unica europea, utilizzando un adattamento del modello civilistico del bilancio alle specificità delle aziende sanitarie. Questo ha consentito negli ultimi anni una miglior osservazione degli andamenti delle spese sanitarie nazionali, andando ad evidenziare sprechi o mancanze.

Avvicinandoci al presente va ricordato come la conclamata depressione economica, che ha travolto tutto il sistema economico mondiale nell'ultimo decennio, abbia portato l'Italia, compreso il relativo sistema sanitario, ad affrontare tale situazione ponendo attenzione a ridurre drasticamente la spesa pubblica.

Ad oggi grazie ai documenti sopracitati possiamo andare ad evidenziare con esattezza gli effetti di ciò sul servizio sanitario.

Se osserviamo in particolare gli andamenti degli ultimi anni nelle relazioni redatte dal Ministero delle Finanze, vedremo che nel 2012 la spesa effettiva del SSN ammontava a 113,683 miliardi di euro, incrementata dello 0,8% rispetto all'anno 2011. Va sottolineato, però, come l'aggregato di spesa al 2012 sia più ampio degli anni precedenti, in seguito al decreto legislativo n.118/2011, per il semplice fatto che gli ammortamenti sono stati integralmente contabilizzati. Tolti quindi gli ammortamenti, si può osservare il reale andamento: una riduzione dello 0,2% della spesa che conferma il -0,1% del 2011 sull'anno precedente; dinamica che porta all'attenzione l'effetto positivo che le misure di contenimento, in risposta ai tagli necessariamente imposti dalle istituzioni, hanno ottenuto, riportando sotto controllo la crescita degli esborsi (3).

La spesa media pro-capite nazionale per funzioni e livelli di assistenza nel 2012 si attesta sui 1.914 euro. Quella dei cittadini dell'Emilia Romagna, invece, tocca i 2.037 euro, che si riduce a 1.935 euro nel 2013 (come si vede in tabella 1) con un calo del 0,3%, secondo i dati del servizio sanitario regionale (4).

Della somma totale regionale del 2013 (8.616.490 €), il 41,3%, rappresenta l'assorbimento di risorse legato all'assistenza ospedaliera; percentuale inferiore ai 41,8% del 2012. 3,562 miliardi di euro il totale.

Livelli di assistenza E.R. (2013)	Costo 2013 in migliaia di euro	% sul totale Costo	pro-capite 2013 in euro
Totale assistenza distrettuale	4.657.258	54,05%	1.045,91
Totale assistenza ospedaliera	3.562.875	41,35%	800,14
Totale assistenza sanitaria collettiva in ambiente di vita e di lavoro	396.356	4,60%	89,01
Totale livelli di assistenza per residenti	8.616.490	100%	1.935,06

Tabella 1-Costi consuntivi regione Emilia Romagna (4)

## 1.2 Liste di attesa

Alla base di un sistema ospedaliero efficiente, vi è sicuramente l'interesse ad erogare prestazioni in archi temporali che rimangano entro dei limiti accettabili, e che siano in relazione alla condizione di salute del paziente. Chi trae beneficio da questa puntualità è sicuramente il singolo paziente. Ugualmente ne beneficeranno tutti i membri della società i quali sapranno che le tasse destinate al sistema sanitario, garantiranno ad una loro eventuale necessità di intervento chirurgico, tempi di attesa adeguati e conseguentemente un'alta probabilità di successo.

### 1.2.1 PNLGA

La realizzazione di un Piano Nazionale di Governo delle Liste di Attesa costituisce un impegno comune del Governo e delle Regioni con la consapevolezza che non esistono soluzioni semplici e univoche, ma vanno poste in essere azioni complesse ed articolate, considerando in particolare la promozione del concetto di appropriatezza nelle sue due dimensioni clinica ed organizzativa. La soluzione del problema non può essere unicamente la disposizione di maggiori quantità di offerta e dei volumi della produzione, ma deve presentare una strategia di governo della domanda che tenga conto dell'applicazione di rigorosi criteri sia di appropriatezza che di priorità delle prestazioni (5).

Per questo, è necessario individuare strumenti di governo clinico, ai diversi livelli del sistema, che coinvolgano direttamente tutti i professionisti, da chi prescrive a chi opera. Il PNLGA:

- aggiorna l'elenco delle prestazioni diagnostiche, terapeutiche e riabilitative di assistenza specialistica ambulatoriale e di assistenza ospedaliera per le quali vanno fissati i tempi massimi di attesa da parte delle singole Regioni nell'ambito del proprio Piano;
- individua le aree cardiovascolare e oncologica quali aree prioritarie per lo sviluppo di percorsi diagnostico terapeutici (PDT) e fissa i relativi tempi massimi di attesa, a garanzia della tempestività della diagnosi e del trattamento
- destina fondi per realizzare il Centro Unico di Prenotazione (CUP) secondo le indicazioni delle linee guida nazionali del Ministero della Salute;
- promuove la valutazione ed il miglioramento dell'appropriatezza prescrittiva;
- individua quali strumenti di rilevazione per il monitoraggio dei tempi di attesa:
  - il flusso informativo dei tempi di attesa delle prestazioni ambulatoriali con modalità ex ante, basato su rilevazione semestrale in un periodo indice stabilito a livello nazionale;
  - il flusso informativo con modalità ex post;
  - il flusso informativo SDO per le finalità di monitoraggio dei ricoveri ospedalieri;
  - il flusso informativo dei tempi di attesa dei percorsi diagnostico terapeutici nell'area cardiovascolare e oncologica;
- Individua, a garanzia della trasparenza e dell'accesso alle informazioni su liste e tempi di attesa, la necessità di procedere, in via sistematica, al monitoraggio della loro presenza sui siti web di Regioni e Province Autonome e di Aziende sanitarie pubbliche e private accreditate;

Obiettivo del PNLGA è di conformare i metodi di stesura delle liste di attesa, e individuare strumenti a sostegno di tale procedura, in grado di renderla accessibile, equa ed estrinseca.

## 1.2.2 Mattone 6 - tempi di attesa

Riguardo ai tempi di attesa, legati in questo caso a prestazioni ambulatoriali, si è trovato un interessante progetto “I Mattoni del Nuovo Sistema Informativo Sanitario (NSIS)”, promosso nel 2003 dal Ministero della Salute in accordo con la Conferenza delle Regioni e di cui il documento (6) fa parte. Il progetto “Mattoni” voleva essere la risposta ad alcune delle nuove necessità evidenziate dall’evoluzione del SSN e, conseguentemente, del NSIS. La Conferenza Stato-Regioni nel dicembre 2003 identificava tra i principi ispiratori: supporto al processo di regionalizzazione, coesione tra gli attori del SSN, la cooperazione e integrazione dei diversi sistemi informativi, l’orientamento al cittadino/utente.

Il Mattone “Tempi di Attesa” si colloca in questo quadro, proponendo l’insieme dei dati e delle analisi svolte nell’ambito del progetto ed un insieme strutturato di proposte. Di seguito si riporta la sezione del documento in cui si definiscono i procedimenti proposti in riferimento alle liste di attesa delle prestazioni ambulatoriali. In tale ambito è grande l’incertezza relativa alla priorità che un paziente può avere; ciò che mi ha spinto è la volontà di farsi una panoramica sulle possibili informazioni che anche in casi difficili è possibile ottenere da un paziente. Questo perché le informazioni saranno l’unica “finestra” che chi collabora al nostro progetto potrà avere su chi richiede prestazioni chirurgiche.

Nelle procedure di prenotazione delle prestazioni ambulatoriali specialistiche garantite dal SSN deve essere previsto l'uso sistematico dell'indicazione di prima visita e controllo, del quesito diagnostico e delle classi di priorità definite come di seguito:

- U (Urgente), da eseguire nel più breve tempo possibile e, comunque, entro 72 ore;
- B (Breve), da eseguire entro 10 giorni;
- D (Differibile), da eseguire entro 30 giorni per le visite o 60 giorni per gli accertamenti diagnostici;
- P (Programmata);

L’uso di un codice di priorità consente implicitamente di pesare la situazione del paziente in modo tale da inserirlo in una coda che non sia semplicemente First In First Out, come avviene frequentemente in azienda, in cui l’oggetto della lavorazione ha peso unitario, ma riconoscere una condizione che è unica, facendo uso dei principi di

adeguatezza, accessibilità, tempestività; sul piano bioetico i concetti fondamentali sono: l'equità rispetto all'accesso ai servizi in base al proprio bisogno, e che i principi di priorità devono ispirare l'erogatore, tanto quanto il prescrittore.

Vengono pertanto individuati 7 elementi per la definizione di priorità:

- 1) severità del quadro clinico;
- 2) prognosi;
- 3) tendenza al peggioramento a breve;
- 4) presenza di dolore e/o deficit funzionale;
- 5) implicazioni sulla qualità della vita;
- 6) casi particolari che richiedono di essere trattati in un tempo prefissato;
- 7) speciali caratteristiche del paziente che possono configurare delle eccezioni, purché esplicitamente dichiarate dal medico prescrittore.

Si riportano qui di seguito delle linee guida atte a supportare le aziende sanitarie ed ospedaliere nella progettazione e gestione delle Agende di prenotazione dei ricoveri programmabili. Relativamente ai dati da inserire, si riporta un elenco di informazioni articolato in due parti, la prima inerente al paziente, e la seconda contenente altre voci utili sotto il profilo gestionale.

<b>Informazioni inerenti al paziente</b>	<b>Rilevanza</b>
<i>a) Nome cognome del paziente</i>	<i>Essenziale</i>
<i>b) Codice paziente ( fiscale)</i>	<i>Essenziale</i>
<i>c) Sesso</i>	<i>Essenziale</i>
<i>d) Data nascita</i>	<i>Utile</i>
<i>e) Residenza</i>	<i>Utile</i>
<i>f) Numero telefono del paziente</i>	<i>Essenziale</i>
<i>g) Persona da informare (nome e telefono)</i>	<i>Essenziale</i>

<i>h) Diagnosi o sospetto diagnostico</i>	<i>Essenziale</i>
<i>i) Classe di priorità</i>	<i>Essenziale</i>
<i>j) Note cliniche particolari</i>	<i>Utile</i>
<b>Informazioni gestionali</b>	<b>Rilevanza</b>
<i>k) Nome del medico prescrittore</i>	<i>Utile</i>
<i>l) Tipo di percorso/intervento previsto (diagnostico, terapeutico, chirurgico ecc.)</i>	<i>Utile</i>
<i>m) Data di prescrizione della richiesta da parte del prescrittore</i>	<i>Essenziale</i>
<i>n) Data inserimento del paziente nella agenda di prenotazione</i>	<i>Essenziale</i>
<i>o) Data prevista per il ricovero</i>	<i>Essenziale</i>
<i>p) Data reale del ricovero</i>	<i>Essenziale</i>
<i>q) Motivi eventuale esclusione/cancellazione, anticipazione o spostamento nella lista</i>	<i>Essenziale</i>
<i>r) Modalità di accesso (visita in ambulatorio divisionale, prescrizione di specialista esterno, visita al PS, visita privata ecc.)</i>	<i>Utile</i>

**Tabella 2- Linee guida per l'inserimento in lista di attesa di un paziente per prestazioni ambulatoriali**

### **1.2.3 Diversi sistemi di priorità nelle liste di attesa**

Le liste di attesa per la chirurgia elettiva sono argomenti di attualità nella maggior parte dei sistemi sanitari pubblici. Recentemente le attenzioni si sono focalizzate sui criteri di priorità espliciti, per garantire un pronto accesso alle prestazioni chirurgiche ai pazienti che presentano maggiori necessità di essere operati e che hanno un più alto grado di aspettative di benessere dall'intervento. Riforme basate su tali principi sono state implementate in gran parte dei paesi del mondo, gli esempi più evidenti sono: Svezia, Regno Unito, Canada, Australia e Nuova Zelanda.

Ad oggi possiamo sintetizzare i metodi più comunemente usati in due famiglie: la prima ha come obiettivo la classificazione dei pazienti in gruppi di urgenza basati su un insieme di criteri clinici e sociali come stato della patologia, dolore o disfunzioni, disabilità, ed età; ogni fascia di priorità è caratterizzata da tempi massimi di attesa. La seconda classificazione, proposta nell'articolo (7) prevede un sistema di priorità a punteggio, in cui ad ogni paziente è associato uno score indicativo della sua necessità; sistema che verrà approfondito al capitolo 3.

Se per il primo metodo si parla di urgenza, o velocità richiesta per ottenere risultati clinici accettabili, per il secondo metodo si fa riferimento alla priorità, ovvero la relativa posizione in una lista di attesa chirurgica.

## **2.Modellizzazione del problema**

### **2.1 Il software: IBM ILOG OPL**

Il software utilizzato per scrivere e implementare il modello prende il nome di IBM ILOG Optimization Suite, ed è un set di prodotti integrati che costituiscono un sistema di supporto, concreto e matematico, al problem solving. Nella sua interezza è composto da: IBM ILOG OPL, strumento atto lo sviluppo del modello; IBM ILOG Optimization Decision Manager (ODM), strumento usato per lo sviluppo delle applicazioni; Due sistemi di ottimizzazione: IBM ILOG CPLEX per la programmazione matematica (Mathematical Programming), e IBM ILOG CP Optimizer per la programmazione a vincoli (Constraint Programming).

All'interno della tesi verrà solo accennato il funzionamento del linguaggio OPL (Optimization Programming Language), dell'ambiente di sviluppo integrato CPLEX Studio IDE e del sistema di risoluzione IBM ILOG CPLEX usato in questo caso (8) (9), in quanto il ruolo delle medesima è di porsi in aiuto alla valutazione dei pesi in sede di decisione, sfruttando un modello già compilato in altre fasi del progetto.

Per riportare il modello matematico in un modello di ottimizzazione informatico, è stato fatto uso dell'ambiente di sviluppo CPLEX Studio IDE (disponibile per Windows a 32 e 64 bit) nel quale è possibile scrivere, eseguire, testare e fare il debug dei modelli di ottimizzazione. Il linguaggio è appunto l'Optimization Programming Language (OPL) che permette una scrittura chiara e semplice del modello.

CPLEX è il solver che CPLEX Studio IDE usa di default il quale permette la risoluzione di problemi di programmazione lineare e di programmazione lineare intera o mista.

#### **2.1.2 Il linguaggio di modellazione: OPL**

Un linguaggio di modellazione costituisce un linguaggio formale che traduce problemi di programmazione in un formato più simile alla notazione matematica di quanto non sia un linguaggio informatico.

Chiaramente nel presente documento non si affronteranno tutti gli aspetti e funzionalità di OPL, ma unicamente quelle sfruttate poi nella scrittura del modello.

Una caratteristica dell'ambiente integrato IDE risiede nella possibilità di organizzare il modello in differenti file rendendo divisibile la parte legata ai dati da quella del modello matematico. Ciò rende indipendenti le due sezioni, potendo in tal modo associare ad un unico modello differenti range di dati. Un *progetto* può essere composto da uno o più modelli e, eventualmente, da più file di dati e diversi setting. Una *run configuration*, specifica un'istanza del problema e collega il modello ai relativi dati e setting. Il file *model* consiste nell'implementazione vera e propria del problema di programmazione matematica. Al suo interno in genere sono presenti la dichiarazione delle strutture dei dati, la funzione obiettivo e i vincoli del problema di ottimizzazione.

Come già detto nel file *model* solitamente non è presente l'istanza dei dati, anche se questo è possibile. Questi file hanno l'estensione “.dat”, mentre il modello ha estensione “.mod”. Il file “.dat” può contenere dati scritti manualmente con la sintassi tipica di OPL, oppure può richiamare fonti di dati memorizzati in un foglio elettronico di Microsoft Excel o in opportuni database (quelli supportati sono DB2, MS SQL, ODBC, Oracle 9 e successivi, OLE DB). Sono inoltre disponibili dei file per il setting dei parametri del risolutore che hanno estensione “.ops”.

### 2.1.3 La sintassi

Farò uso dell'esempio dell'Instructor workbook fornito con IBM OPL per spiegare in modo rapido ed efficace le principali strutture usate nella stesura del modello:

#### Simple production planning model

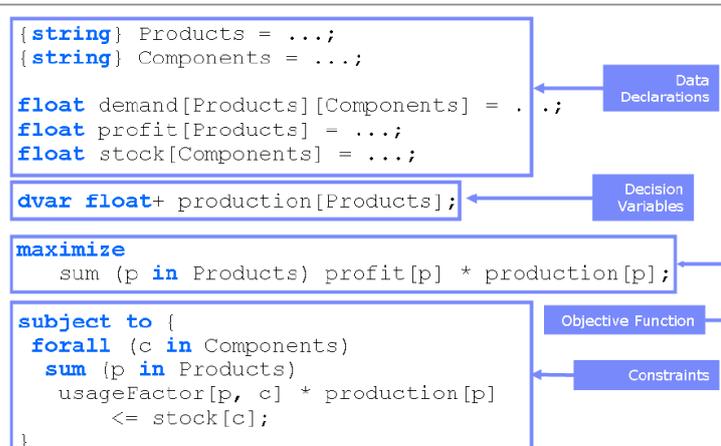


Figura 1 – Esempio da (5)

L'esempio in questione riguarda una comune pianificazione della produzione, si possono evincere le seguenti fasi:

- Dichiarazione dei dati: nel modello si espone la struttura dei dati scelta. Al posto dell'istanza dei dati, vi sono dei puntini di sospensione, infatti come detto, i dati saranno poi inizializzati in un altro file apposito con estensione “.dat”
- Variabili decisionali: la quantità da produrre per ogni prodotto costituisce il solo tipo di variabili decisionali di tale esempio. Anche qui si deve specificare la struttura e tipologia delle variabili.
- Funzione obiettivo: intenzione del modello esempio è produrre una determinata quantità di prodotti, in modo da massimizzare il profitto, esplicitato dalla parola chiave “*maximize*”, nel caso l'obiettivo fosse minimizzare una quantità, si utilizzerebbe “*minimize*”.
- Vincoli: identificato dalla parola chiave “*subject to* {“ si individua il blocco che vincola le risorse ad una determinata quantità.

Ad ogni dichiarazione va specificato nome del dato, in modo da renderlo richiamabile in modo univoco, e la tipologia di dato, che gli conferirà caratteristiche intrinseche; ciò è possibile scrivendo, prima del nome, la relativa parola chiave: “*int*” per un valore intero, “*float*” per un valore reale e “*string*” per una stringa di caratteri.

Infine fondamentale è la struttura dei dati, i differenti tipi sono:

- Scalari: come nell'esempio, i dati sono semplicemente numeri.
- Range: Un range è tipicamente usato in diversi modi che esulano però dai nostri obiettivi. Diciamo solo che bisogna specificare gli estremi del range con semplici valori o anche con espressioni (es.: “*range Rows = x..y;*”).
- Sets: sono collezioni di elementi non indicizzate e si indicano inserendo la tipologia del dato fra due parentesi graffe (es.: “*{string}*”) oppure con l'espressione “*setof(tipo)*”. Spesso un set di dati si inizializza usando un altro range o set di dati.
- Arrays: sono indicati da parentesi quadre e possono essere multidimensionali. Gli elementi di un array possono essere anche dei sets o delle tuple, oltre che le classiche tipologie elencate sopra. Analogamente ai sets, anche gli arrays possono essere inizializzati in diversi modi.
- Tuples: (“*tuple*”) consistono in una tipologia “avanzata” di dati che può essere definita come una riga in una tabella di un database. Tipicamente si dichiara un set

che usa una tupla come tipologia e si inseriscono una o più chiavi per richiamare gli elementi di quella tupla (“*key*” è la parola usata). La struttura delle tuple sarà quella usata nel modello per i dati Paziente e Sale Operatorie.

Senza scendere nei dettagli, è necessario citare tutte le varie combinazioni possibili di queste strutture: set dentro tuple, arrays dentro tuple, tuple dentro tuple, set di tuple, arrays di tuple, arrays di set. Tra queste combinazioni, nel modello per le sale operatorie, saranno usati dei sets di tuple, che sono molto comodi soprattutto in fase di inizializzazione dei dati. Come accade nella programmazione matematica anche in OPL è possibile utilizzare degli indici che permettono di indicare gli elementi presenti all’interno delle strutture appena elencate. In questo modo, invece di scrivere un’espressione per ogni elemento, si scrive semplicemente un indice che richiama di volta in volta tutti gli elementi presenti in tali strutture. Per quanto riguarda i vincoli e la funzione obiettivo per i nostri scopi è sufficiente sapere il modo in cui essi devono essere scritti e dichiarati attraverso le opportune chiavi citate sopra. Inoltre è utile dire che è una buona abitudine etichettare i vincoli in modo da rendere più facile l’analisi successiva del modello (10).

## **2.2 Il modello matematico**

Il modello matematico cui fa riferimento tale elaborato, e su cui si sta basando il progetto di cui esso fa parte, è quello sviluppato nella tesi di Colantonio (10). Il modello matematico sviluppato è composto da tre tipologie di variabili decisionali ognuna delle quali tiene conto della pianificazione di una tra le attività che abbiamo ritenuto fondamentali nel nostro contesto di applicazione.

Il modello matematico e il corrispondente codice di programmazione informatico sono stati sviluppati secondo le esigenze dello specifico ospedale per cui sono stati concepiti. Allo stesso tempo, la tecnica della programmazione matematica e della traduzione del modello in OPL rendono lo strumento adatto ed efficace anche per situazioni diverse. Con piccole modifiche ai modelli, infatti, si può facilmente adeguare la funzione obiettivo ottenuta a contesti anche sensibilmente diversi. Ad esempio in funzione obiettivo saranno presenti dei pesi che danno più o meno importanza a determinate attività schedate. Tali pesi possono essere definiti

diversamente a seconda delle specifiche esigenze della situazione in cui il modello viene applicato. Inoltre, grazie alla traduzione in linguaggio OPL, lo strumento può essere definito “modulare”, ed è quindi semplice inserire altre risorse o altri vincoli in caso di necessità.

### **2.2.1 Le variabili decisionali**

Per una corretta programmazione si è deciso di utilizzare un insieme di variabili decisionali che pianifichino l'intervento, l'induzione e il risveglio dell'insieme dei pazienti considerato e che possono assumere solo due valori: 1 se le risorse in questione vengono effettivamente assegnate ai pazienti, 0 altrimenti.

Per quanto riguarda la pianificazione dell'intervento è stata definita la variabile  $X(ikpt)$  che assume valore 1 ogni volta che l'intervento del paziente  $i$  preso in considerazione viene effettivamente schedato nella sala operatoria  $k$  all'inizio del periodo  $p$  del giorno  $t$ . In fase di inizializzazione si dovranno azzerare tutte le variabili  $X$  per le quali la sala operatoria in questione non può accogliere il paziente. Ciò può accadere in due casi: se la sala non è adibita alla specialità corrispondente all'intervento del paziente, oppure se la durata totale dell'intervento non può terminare entro la fine della giornata. Sono stati inoltre definiti, sempre nell'ambito della pianificazione dell'intervento, altri due tipi di variabili decisionali booleane con lo scopo di monitorare la situazione degli interventi non schedati o comunque non eseguiti. Rispettivamente la variabile  $\alpha$  pari a 1 se l'intervento del paziente non è programmato nel giorno  $t$  e la variabile  $\gamma$  pari a 1 se l'intervento del paziente  $i$  non viene programmato. Analogamente a quanto fatto per la pianificazione dell'intervento, sono state definite le variabili decisionali per la schedulazione dell'induzione e del risveglio.

Nel caso dell'induzione la variabile  $y$  è totalmente analoga alla variabile  $X$  dedicata all'intervento e precedentemente definita. Anch'essa, infatti, dovrà essere imposta a 0 nei casi in cui la sala di induzione non è adibita ad accogliere le specialità dei pazienti in questione, e se la durata totale dell'intervento compresa della durata dell'induzione non termina entro la fine dei 72 periodi giornalieri.

La variabile  $z$  per la pianificazione del risveglio, invece, dovrà essere posta a 0 solo nel caso in cui il risveglio stesso non finisca a fine giornata.

### 2.2.2 La funzione obiettivo

L'obiettivo del modello deve essere quello di massimizzare il numero di interventi schedulati, saturando il più possibile le risorse. Tale obiettivo si traduce nell'ottenere quante più variabili  $X$  uguali a 1, dando priorità agli interventi più vicini alla deadline e minimizzare il numero di variabili  $\alpha$  e  $\gamma$  uguali a 1. Questo si ottiene definendo la seguente funzione obiettivo.

$$\min \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{i \in \mathcal{J}} \beta_i \omega_{it} \alpha_{it} + M \sum_{i \in \mathcal{J}} \gamma_i$$

In fase di definizione dell'istanza dei dati sarà fondamentale assegnare valori opportuni ai pesi  $\omega$  e  $\beta$  che si riferiscono agli specifici pazienti in modo da rendere la funzione obiettivo adatta a soddisfare le esigenze espresse dal modello. Allo stesso modo si dovrà assegnare al peso  $M$  un valore proporzionalmente corretto e legato agli stessi pesi specifici.

Per dovere di cronaca bisogna indicare come, dal file .mod iniziale, siano state apportate alcune modifiche che sono sviscerate nelle tesi di Russo (11) e Rossi (12). Riporto quelle che riguardano il presente elaborato, ovvero quelle presenti nella funzione obiettivo: prima di tutto gli indici come si può osservare sono variati (il paziente è indicizzato con  $p$  e non più  $i$ ), poi, momentaneamente, si è deciso di escludere il peso  $\omega$ , ora chiamato "pesoDL"(deadline), per semplificare la redazione del modello; mentre il peso  $\beta$  ha preso il nome di "peso" ed è questo il fattore su cui si cercherà di lavorare nei seguenti capitoli.

Si avrà dunque la seguente formula matematica:

$$\min \sum_t \sum_p \text{peso}_p \cdot \alpha_{pt} + M \sum_p \gamma_p$$

Che, in linguaggio OPL, prende la seguente formulazione:

```
minimize sum(t in Day, p in Pazienti) p.peso*ALFA[p][t] +  
M*sum(p in Pazienti)GAMMA[p];
```

In questa funzione obiettivo si va a minimizzare la somma in  $p$ , pazienti, e  $t$ , giorni, del prodotto di  $p.peso$ , ovvero peso del cliente  $p$ -esimo, e  $ALFA[p][t]$ , che, come

spiegato nel paragrafo precedente vale 1 se  $p$  non è assegnato al giorno  $t$  (il modello cercherà dunque di assegnarlo il prima possibile, in funzione della grandezza del “peso” di  $p$ ); a cui si aggiunge la sommatoria in  $p$  di  $GAMMA[p]$  moltiplicato per un fattore  $M$ , il cui obiettivo è fondamentalmente quello di penalizzare il non assegnamento del paziente quanto più grande è il fattore  $M$ . Nei risultati verrà poi spiegato come, a livello pratico, si è messo mano a tali pesi per valorizzare il singolo paziente e favorirne la schedulazione.

### **3. Analisi dei pesi in funzione obiettivo**

Dato lo scarso successo riscontrato nell'aumentare i volumi di offerta, e visto il calo delle possibilità economiche del sistema sanitario, esplicito nel capitolo 1, si è spostata l'attenzione su iniziative orientate alla razionalizzazione e al governo dei tempi di attesa, piuttosto che alla ricerca di un loro illusorio azzeramento. Iniziative che cercano di contenere la lunghezza delle liste, e far sì che i tempi siano commisurati all'entità del bisogno assistenziale. Per fare ciò, la ricerca che ho condotto in modo più accurato è stata quella relativa all'assegnamento di valori appropriati che rappresentassero in modo il più esaustivo possibile la necessità di intervento che il singolo paziente presentasse. Come già visto, il peso serve per assistere il modello alla pianificazione delle operazioni cercando di penalizzare l'eventuale non assegnamento di casi clinici con maggior urgenza puntando a calar il più possibile i tempi di attesa.

#### **3.1 Letteratura**

A causa della crescente ricerca dell'efficienza anche all'interno degli ospedali è facile reperire svariati studi legati alla ricerca di nuovi sistemi di valutazione oggettiva del paziente, in grado di ottimizzare l'assegnamento alle liste di attesa di accesso alle prestazioni.

##### **3.1.1 Metodo NAWD**

In Italia, il SSN, prevede la suddivisione in cinque classi di urgenza relative (URG) associate ad un tempo massimo raccomandato. Un interessante studio condotto da una squadra di ricercatori di Genova, già citato nel capitolo 1, porta all'attenzione la necessità di una nuova più efficiente prioritizzazione dei tempi di attesa in chirurgia; data la somiglianza con il nostro progetto si è deciso, quindi, di analizzarlo per capire su quali fattori focalizzarsi in seguito.

Nello studio, viene proposto un innovativo algoritmo per il calcolo di un valore di priorità da assegnare ai pazienti, denominato prioritization scoring algorithm (PSA), che combina in modo innovativo ma soprattutto matematico, e dunque univoco, i fattori normalmente usati nell'assegnazione alle cinque classi di urgenza URG: progressione della malattia, dolore o disfunzioni e disabilità. Se la progressione della

malattia può assumere i valori: evidente, veloce o nulla; invece dolore o disfunzione e disabilità potranno essere classificati in: severo, mite, nullo. Facendo uso di una nuova misura che tiene in conto sia urgenza che priorità, denominata need-adjusted-waiting-day (NAWD) si possiederà un valore che consentirà al medico che redige le liste di attesa, di distinguere livelli di priorità differenti all'interno della medesima classe di urgenza. Il punteggio di priorità è così calcolato:

$$P_i = 3r_i^2 + a(1 + 0.5p_i^2 + 0.5d_i^2)t,$$

con  $a = 0$  se  $r > 0$  e  $a = 1$  se  $r = 0$

Dove  $r$ ,  $p$  e  $d$  sono i valori numerici di progressione della malattia, dolore o disfunzioni e disabilità che variano da 0 a 4.  $a$  è una variabile binaria e  $t$  è il tempo di attesa trascorso espresso in giorni, che provvede a dare un peso anche a i pazienti con basso grado di urgenza, assicurandosi che arrivino anch'essi alla soddisfazione del bisogno senza essere perennemente superati da casi più urgenti. La formula riflette l'opinione che si possono inserire i pazienti in una lista, in funzione del loro bisogno; per questo, l'andamento di  $r$  domina sugli altri criteri attraverso l'inclusione di  $a$ , che opera andando a giudicare irrilevanti gli altri fattori qualora il grado di progressione della patologia sia alto, oppure a includerli con il medesimo peso nel caso opposto.

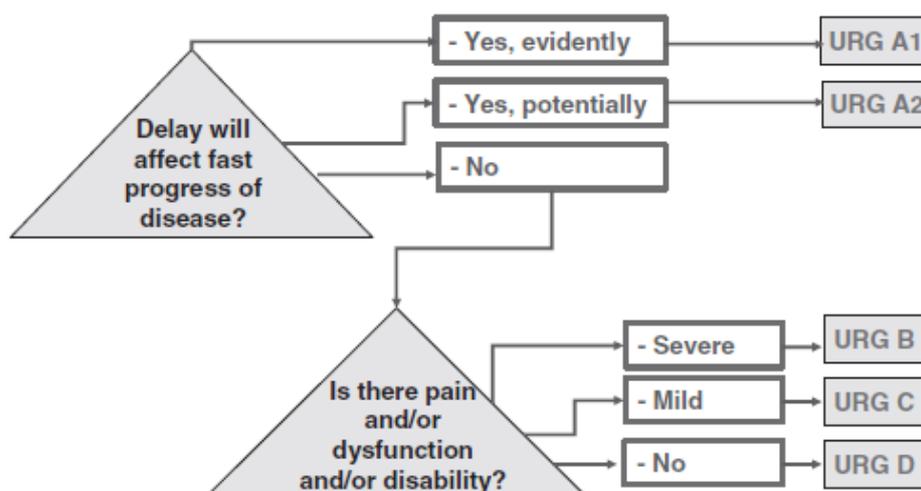


Figura 2- Algoritmo di assegnamento dei pazienti nei gruppi URG in accordo al SSN,[10].

Avremo dunque che il valore di  $P_i$  possa variare a seconda del paziente da 0 a 48  $m$ , con  $m$  pari al tempo di attesa maggiore presente. I risultati dello studio, condotto su una popolazione di 236 pazienti in 6 mesi di analisi, mostrarono un incremento dell'efficienza, ma in particolare di un cambio di ordine di ammissione in lista, con pazienti che sono stati inclusi prima (avvantaggiati) o dopo (svantaggiati) le date reali ottenute dallo scenario URG classico usato in Italia; con un saldo positivo dei primi. Come fattore di valutazione si è tenuto conto anche del costo -26%, della miglior utilizzazione delle risorse ospedaliere, ma soprattutto della deviazione standard, misura di equità orizzontale (pazienti con medesimo bisogno devono avere gli stessi tempi di attesa) e verticale (diverso bisogno, diversa attesa). I vantaggi di misurare il bisogno clinico attraverso il NAWD sono immediati: ottenere una misura unica di urgenza e priorità e attribuire tempi di attesa omogenei ai clienti qualunque sia il loro grado di urgenza. Chiaramente il beneficio sta nell'usare entrambe i metodi, con l'URG a sostegno dei tempi limite, fattore mancante nel NAWD. Per ulteriori approfondimenti si rimanda a (7).

### **3.1.2 Criteri di accesso alla priorità clinica**

Si è analizzato uno studio condotto in Nuova Zelanda, stato in cui come in altri paesi, la domanda di chirurgia elettiva ha per lungo tempo ecceduto la capacità di offerta del sistema sanitario pubblico. Come ci spiega l'articolo (13) negli anni '90 l'attenzione dei media e la gestione inefficiente e non equilibrata delle liste di attesa ha portato all'adozione di uno strumento, tutt'oggi usato, chiamato CPAC (Clinical Priority Assessment Criteria), disegnato per lavorare in stretto contatto con il sistema di prenotazione chirurgico e la soglia finanziaria disponibile ad ogni ospedale. Tale strumento consiste in una scala di urgenza divisa in cinque gradi che include anche uno score legato a condizioni specifiche come severità, capacità di ottenere beneficio e comorbidità (compresenza di malattie). Tale studio condotto alcuni anni or sono, ha richiesto ai chirurghi come tale sistema venga effettivamente sfruttato e ,oltre ad esso, quali fattori fossero per loro fondamentali per stabilire la priorità di accesso alle prestazioni. Per reperire queste informazioni fu usato un questionario che portò a risultati inattesi, in particolare riguardo all'inutilizzo dello strumento oggetto di esame.

Nonostante il 70% di essi sostenesse che fosse necessario avere un sistema nazionale di assegnamento di priorità, lo stesso numero considerava il proprio giudizio il metodo più affidabile per il discernimento. Se un sistema equo di accesso alla chirurgia è ritenuto essenziale, è sotto gli occhi di tutti la difficoltà nel separare l'insieme dei fattori che possono presentarsi nelle diverse tipologie di paziente, e i fattori che realmente influenzano la richiesta di priorità nei trattamenti. Altre barriere alla realizzazione di un sistema unico di assegnamento di priorità, possono essere il peso che i finanziamenti hanno sull'offerta di prestazioni di ogni ospedale, oppure l'esperienza propria di ogni singolo chirurgo che lo spinge ad adottare criteri piuttosto che altri. Viene quindi esposto il pensiero per cui il concetto di priorità vada dunque dotato di una prospettiva "popolare", eliminando l'attuale intento di limitare l'accesso alla chirurgia e sostituendola con una visione più democratica, focalizzata sulla salute della comunità. I fattori alternativi all'opinione clinica del chirurgo, proposti in sede di questionario (13), sono: l'opinione del chirurgo sulle aspettative di beneficio del paziente, stimata di maggior influenza sul giudizio finale dal 40% dei votanti, il CPAC (25%), il tempo che il paziente ha già aspettato (12%), la sindrome dello "squeeze wheel" (pressione da parte del paziente o da chi per lui) (6%) e la potenzialità del caso di fungere da riempitivo dei tempi di operazione già assegnati (una sorta di ottimizzazione del tempo fatta direttamente dallo specialista)(6%).

### **3.1.3 Tempi effettivi di attesa per interventi di chirurgia generale in relazione alla priorità clinica**

Un interessante studio condotto tramite l'Università di Bologna in collaborazione con due unità operative di chirurgia generale, seguito anche dal Dott. R. Grilli, attuale direttore dell'Agenzia Sanitaria Regionale, si è posto la questione di come modulare i tempi di accesso a interventi in elezione, in funzione della priorità clinica dei pazienti (14). L'utilizzo di strumenti in grado di rendere espliciti i fattori e le scale di priorità, come più volte ho proposto precedentemente nella trattazione, può essere qualcosa di importante, ma non propone nulla di realmente innovativo dato che le attuali modalità di gestione delle liste utilizzano per lo più i medesimi principi seppur impliciti e soggettivi. Per chiedersi se davvero le liste di attesa consentano l'accesso per primi a coloro che effettivamente vengono giudicati avere alta priorità dai medici, è stato

utilizzato un campione di pazienti avviati a interventi di chirurgia generale in elezione, in cui si è osservata la «coerenza» tra criteri utilizzati nella valutazione clinica di priorità e i tempi di accesso effettivi dei pazienti. Si trattava, quindi, di verificare se e in che misura i determinanti della priorità clinica, attribuita dai medici sulla base della loro valutazione dei bisogni assistenziali dei singoli pazienti, coincidessero con i determinanti dei tempi di accesso effettivi.

I medici hanno rilevato le caratteristiche dei pazienti avviati a un intervento di chirurgia generale in elezione, tramite un'apposita scheda in cui indicare caratteristiche cliniche (intensità dolore, grado di compromissione funzionale, presenza di una patologia oncologica) e un giudizio sull'entità del beneficio clinico ottenibile dall'intervento (in termini di miglioramento atteso sulla durata e qualità della sopravvivenza), più un giudizio da 1 a 10 di una scala analogica come grado complessivo di priorità. È stato poi calcolato dagli autori uno score di priorità, per cui i determinanti, identificati come corrispondenti a un giudizio clinico di alta priorità, assumessero un valore  $\geq 8$ . La differenza tra la data di esecuzione dell'intervento e la data dell'inclusione alla lista di attesa costituiva il tempo effettivo di accesso. Tramite una procedura *stepwise backward* sono stati identificate le caratteristiche dei pazienti che potevano essere associate a tempi di attesa minori.

Su 400 pazienti considerati, il 32% erano ad alta priorità, mentre lo score di priorità medio era 5,8 (7,8 nei pazienti con patologia oncologica), il 78% dei pazienti a cui veniva anticipato un beneficio consistente con l'intervento, erano pazienti oncologici.

Secondo le analisi univariate, esplicitate nella figura 3, l'attribuzione di un elevato grado di priorità clinica è risultata essere associato all'età (43% degli over 60 erano ad alta priorità), alla presenza di patologia oncologica, ai miglioramenti attesi mentre non lo era alla presenza di dolore e di compromissione funzionale. Attraverso un'analisi multivariata condotta sui determinanti dell'alta priorità clinica e dei tempi di attesa si vede come un insieme di caratteristiche emerge a pari di altri condizioni; nella priorità tali fattori sono il dolore grave, la rilevante compromissione funzionale, la patologia oncologica e il sostanziale miglioramento atteso, mentre a livello di tempi di attesa l'unico fattore che garantiva brevità di attesa era la patologia oncologica. È risultata fondamentale la presenza di una patologia oncologica accertata o sospetta.

	Alta priorità clinica			tempi di attesa effettivi		
	n.	%	valore di p	mediana in giorni	log-rank test	valore di p
<b>età</b>						
<50	123	18		321		
51-60	70	30		89		
61-70	101	41		66		
>70	111	42	<0,001	69	12,11	<0,001
<b> sesso</b>						
maschi	236	25		128		
femmine	169	37	0,012	92	1,67	0,19
<b>patologia oncologica</b>						
assente	244	9		315		
presente	161	68	<0,001	26	72,12	<0,001
<b>dolore</b>						
assente/occasionale	234	34		89		
presente	171	30	0,47	112	0,51	0,47
<b>intensità del dolore</b>						
assente/lieve	250	34		92		
moderato/grave	155	30	0,36	112	1,20	0,25
<b>compromissione funzionale</b>						
nessuna/lieve	376	30		97		
rilevante	29	59	<0,001	70	0,15	0,69
<b>miglioramento atteso su aspettativa di vita</b>						
nessuno	158	6		315		
modesto	63	17		401		
consistente	74	36		94		
sostanziale	110	76	<0,001	23	58,73	<0,001
<b>miglioramento atteso su qualità della vita</b>						
nessuno	21	14		63		
modesto	75	17		251		
consistente	185	19		236		
sostanziale	124	64	<0,001	34	14,32	0,002
<b>attesa di vita</b>						
normale	194	8		315		
lievemente ridotta	90	19		94		
sostanzialmente ridotta	34	53		45		
condizione fatale entro pochi mesi	87	92	<0,001	21	64,4	<0,001

**Figura 3-Alta priorità clinica e relativi tempi di attesa- analisi univariate**

Nelle conclusioni dello studio si possono trovare diversi spunti interessanti. Per prima cosa è sottinteso che l'adozione di strumenti di prioritizzazione richiede pesanti investimenti da parte dei servizi per riorganizzare i tradizionali meccanismi di gestione degli accessi; esborsi che dovranno quindi essere giustificati da studi e piani operativi ben approfonditi. Questo perchè già esistono sistemi che svolgono tale ruolo, seppur in modi meno automatici e oggettivi, i pazienti vengono già avviati con diversi gradi di velocità a interventi sulla base di una valutazione clinica. In tal caso, quindi, potrebbe assumere il significato di trasparenza verso i cittadini, che vedrebbero giustificata da motivazioni fondate la propria attesa. La seconda conclusione proposta è il vero risultato, ovvero che i determinanti per la valutazione della priorità clinica differiscono dai determinanti degli effettivi tempi di attesa. Infatti, se la priorità clinica è determinata da un insieme di più fattori concorrenti al momento dell'inserimento in lista, i tempi di accesso riconoscono come fattore determinante la presenza di

patologia oncologica. È dunque necessario valutare se l'insensibilità dei tempi effettivi di accesso alle caratteristiche dei pazienti abbia implicazioni negative nonostante, il fatto che, la presenza di una (anche sospetta) patologia oncologica sia sistematicamente associata a tempi di attesa significativamente più brevi, appare evidentemente rassicurante. Viene per cui sottolineato come nel sottoinsieme dei pazienti con patologia oncologica vi era una relazione tra giudizio clinico di alta priorità e tempi di attesa indipendentemente dalle singole caratteristiche cliniche che contribuivano alla definizione di tale giudizio, di conseguenza da una parte è chiaro che le caratteristiche considerate non fossero esaustive, dall'altra che i pazienti oncologici abbiano modalità di accesso più "modulate" in funzione della valutazione clinica di quanto non siano quelle degli altri pazienti.

Infine è elencata tra le motivazioni della discrepanza tra priorità clinica assegnata e tempi effettivi di attesa anche la sconcertante assunzione, che ad oggi, non è tanto la condizione clinica del paziente a fare i tempi di attesa, quanto le condizioni organizzative degli ospedali.

### **3.2 Valutazione dei pesi: metodo AHP**

L'Analytic Hierarchy Process (AHP) è una tecnica strutturata, appartenente alla famiglia delle analisi multicriterio, orientata a supportare un processo decisionale nel caso in cui si debbano valutare una molteplicità di informazioni, più o meno eterogenee tra loro, ma tutte concorrenti alla valutazione. Tale metodo è stato sviluppato da Thomas L. Saaty nel 1970 ed è stato ampiamente studiato e perfezionato fino al giorno d'oggi. Infatti, esso, trova applicazione in una grande varietà di situazioni di decisione, in settori come il governativo, l'imprenditoriale, il sanitario e nell'istruzione. Decisamente poco complesso, ma sicuramente efficace, consente al decisore di analizzare diverse alternative in modo immediato, monitorandone l'impatto sulla scelta finale, e optando per la scelta più coerente per la situazione oggetto di studio. In particolare consente di assegnare delle priorità ad una serie di alternative scelte dal decisore. Per farlo relaziona valutazioni di carattere qualitativo e quantitativo, altrimenti non direttamente confrontabili, e combina scale di misura differenti in una singola scala di priorità (15). Si basa su una serie di confronti a coppie (pairwise comparison) fra i criteri considerati, attribuendogli un punteggio di

importanza relativa e consegna come risultato un peso percentuale a ciascuno di essi. I punteggi da utilizzare ad ogni confronto sono, in linea di massima, arbitrari e corrispondono generalmente al numero di livelli qualitativi da considerare durante i confronti a coppie. Definiamo  $A_i$  il generico stimolo, con  $i=1, \dots, n$ , e  $a_{ij}$  il valore numerico rappresentante il confronto fra i criteri  $i$  e  $j$ . Con l'indice  $i$  si indicano le righe della matrice dei confronti a coppie, mentre l'indice  $j$  fa riferimento alla colonna; il risultato di tutti i confronti, in totale  $n(n-1)/2$ , genererà tale matrice che chiamiamo  $A_{n \times n}$  che verrà poi utilizzata per creare il vettore dei pesi percentuali (priorità) di ogni singolo criterio. Generalmente si considera una scala di valutazione che varia da 1 a 9, dove ogni livello della scala corrisponde alla valutazione di tabella 3.

$A_{n \times n}$	X	Y	Z
X	1	1/a	1/b
Y	a	1	1/c
Z	b	c	1

Valore $a_{ij}$	Interpretazione
1	$i$ e $j$ sono equamente importanti
3	$i$ è poco più importante di $j$
5	$i$ è abbastanza più importante di $j$
7	$i$ è decisamente più importante di $j$
9	$i$ è assolutamente più importante di $j$

Tabella 4-Esempio di matrice A

Tabella 3-Scala semantica di Saaty

Chiaramente si avrà che se  $a_{ij} = a$ , allora  $a_{ji} = 1/a$ , con  $a > 0$ ; in pratica, osservando la tabella 4, scritti i confronti tra gli stimoli (X,Y e Z) nella parte di tabella inferiore alla diagonale(verde), nella sezione opposta verranno riportati i reciproci (gialla).

Schematizzando in un algoritmo il procedimento potremmo identificare i seguenti passi:

1. Si identifichino gli  $n$  criteri che si vogliono considerare nella valutazione
2. Si crei una matrice  $A_{n \times n}$  dove sia righe che colonne sono costituite dagli  $n$  criteri; mentre per ogni cella  $a_{ij}$  al di sotto della diagonale si inserirà un valore rispettando la scala di valutazione della tab.1, al di sopra di essa, nella casella  $a_{ji}$ , se ne porrà il reciproco;possiamo chiamare questa fase pairwise exchange.
3. Si sommino i criteri per ogni colonna.
4. Si normalizzino i valori delle caselle in una nuova matrice dividendo ogni cella per la somma della colonna corrispondente.

5. Si calcoli la media di ogni riga individuando il vettore  $W$  dei pesi che riporterà nella casella  $w_i$ , il peso percentuale relativo al criterio  $i$ , sul totale. Ovvero ottenendo il vettore dei pesi percentuali  $W$  o delle priorità relativi agli stimoli  $A_i$ .

Un ulteriore passo, potrebbe essere quello di verificare la correttezza della matrice  $A_{n \times n}$  inserendo i valori in un test di adattamento. Per fare ciò si seguano i seguenti passi:

1. Determinare il vettore somma dei pesi  $W_s$ , per cui valga:

$$\{W_s\} = [A_{n \times n}] \times \{W\};$$

2. Si trovi il vettore consistenza  $\{C\}$ , tale che:

$$\{C\} = \{W_s\} \cdot \left\{ \frac{1}{W} \right\};$$

3. Si determini la media  $\lambda$  degli elementi di  $\{C\}$ ;
4. Si determini l'indice di consistenza  $CI$  per cui:

$$CI = \frac{(\lambda - n)}{(n - 1)};$$

5. Dalla tabella 5 redatta da Saaty (10) si trovi  $RI$ = Random Index proprio di una matrice  $n \times n$  in cui le coppie sono casuali

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$RI$	0.00	0.00	0.58	0.90	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

**Tabella 5-Random Index (10)**

6. Si determini il Consistency Ratio,  $CR$ , tale che:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Imponendo, nel caso meno restrittivo che  $CR < 0,1(10\%)$ . Se tale condizione è soddisfatta allora si avrà consistenza dei dati. Come si può capire analizzando i valori di  $RI$  in funzione della dimensione, è inutile definire una soglia per la consistenza nel caso di matrici dei confronti a coppie di dimensione  $n = 1$  e  $n = 2$ . Nel primo caso ottengo una matrice identità  $1 \times 1$ , mentre nel secondo caso, confrontando solamente 2 stimoli, non è possibile ottenere inconsistenza.

### **3.3 Applicazione AHP al modello**

Analizzando diverse alternative si è convenuto con il correlatore che il metodo AHP fosse quello più appropriato per rispondere alle necessità dell'elaborato. Semplice ed immediato, è stato valutato positivamente anche per la facilità con cui si può integrare con eventuali successive modifiche del modello, ad esempio l'inserimento di ulteriori caratteristiche per la valutazione di priorità del paziente.

Il primo step è stata la ricerca dei criteri adatti per valutare il peso. Sono partito dai dati raccolti dall'ing. Buccioli, relative ad un progetto simile al nostro, sviluppato in un ospedale nelle vicinanze; informazioni che ci hanno permesso di inizializzare il modello con istanze molto vicine al reale. Per il nostro lavoro è stato necessario avere conoscenze relative ai pazienti e l'organizzazione della struttura. Per i primi si è considerata la lista dei nominativi, le rispettive caratteristiche, la dead line e l'elenco degli interventi; mentre per la struttura informazioni legate alle sale operatorie, d'induzione e di risveglio, e come viene organizzato il lavoro degli operatori.

Nel paragrafo seguente approfondirò i criteri che si è deciso di inserire nella valutazione del peso del paziente: l'età, il codice ASA e la classe di urgenza.

#### **3.3.1 L'età**

Il valore che viene attribuito all'età può avere diverse valenze. Agli anni viene applicata una funzione che ricoprirà una quota del "peso", nome dato alla priorità clinica del paziente. L'età ha rappresentato una delle poche informazioni numeriche, caratteristiche dei pazienti, a cui ho potuto accedere e con cui li ho potuti valorizzare in una lista di accesso alle cure. Per questo ha ricoperto un ruolo centrale all'interno del presente lavoro. Come prima parte della mia ricerca ho intervistato un medico di base, la Dott.ssa Annarosa Fantozzi e un chirurgo, il Dott. Federico Coccolini, ma pure conoscenti, per capire come le persone interpretano questo dato. L'importanza del dato anagrafico è stata sottolineata anche al capitolo 3, dove con lo studio (10), si è affermato come questo fosse associato all'attribuzione di un elevato grado di precedenza clinica. Venne osservato come col crescere dell'età, crescesse la percentuale di pazienti giudicati prioritari, tanto che, il 43% di quelli di età >60 fossero attribuiti ad alta priorità, contro il 30% di quelli di età compresa tra 51 e 60, e il 18%

di quelli con meno di 50 anni. Implicitamente questo articolo attribuisce all'età un significato di esposizione al rischio. Studiando altre fonti mi sono reso conto di come potessi far assumere un'importanza crescente alla quota dedicata nel valore "peso", al crescere dell'anzianità. Nel database "DB definitivoClassi operativo crescente.accdb" di cui parlerò al capitolo 4 ho scelto, dunque, di prelevare il valore dell'età dalla tabella "lista d'attesa", così com'era, dividendolo solamente per 100 (assumendo, per ipotesi semplificativa, 100 come valore massimo di età) per standardizzarlo a 1. Per automatizzare l'operazione, ho sfruttato una query ("ListaAttesaQ"), sviluppata da alcuni colleghi, che lo inserisse insieme agli altri fattori nella colonna "peso" della tabella "ListaAttesaOpt" (ovvero la tabella poi usata nel file .dat). Il numero ottenuto, infatti, veniva sommato ai valori di codice asa e codice di urgenza, tutti standardizzati e moltiplicati ciascuno per il proprio peso calcolato tramite il metodo AHP (nei seguenti capitoli verrà analizzato meglio questo processo di calcolo). In tal modo si avrà un valore in funzione di età che, al crescere di quest'ultima, crescerà portando ad aumentare il valore di "peso", il quale richiederà al modello una schedulazione più vicina possibile. Qui troviamo il significato di esposizione al rischio: tanto più il paziente è vecchio, e bassa è la sua resistenza/sopportazione di una situazione di disagio, quanto più il valore di peso dovrà, necessariamente, lievitare. Nel seguito della trattazione verrà fatto riferimento a questa prima configurazione tramite gli appellativi di: esposizione al rischio, logica crescente, cresc.

Ma con questo sistema di ragionamento non tutti si trovano d'accordo, per lo più persone giovani e di mezza età sono convinti che a parità di condizioni cliniche, la vecchiaia sia un fattore negativo; ovvero, più il paziente è giovane e più ha diritto ad essere operato per primo. Ho individuato questo tipo di logica, come corrispondente a un'equivalenza: giovinezza = beneficio atteso. In questo modo cambia totalmente l'interpretazione del dato età, che dunque deve portare a crescere "peso", laddove cala l'età e dunque cresce l'aspettativa di vita che l'intervento può donare al paziente. Nel database usato per questo tipo di simulazione, "DB definitivoClassi operativo decrescente.accdb", ho semplicemente sottratto a uno la frazione età/100 in modo che il valore di funzione di età sia inversamente proporzionale all'età stessa. Farò riferimento a questo secondo scenario con: beneficio atteso, logica decrescente, decresc.

Dopo un'attenta riflessione e un confronto con diverse persone, ho capito come la deduzione del significato di esposizione al rischio del primo caso, individuata come una funzione direttamente proporzionale, fosse eccessivamente semplicistica. Ho pensato di applicare un'interpretazione al protocollo di Birkenhead, la legge etica non scritta, la quale "dice" che nel naufragio di una nave si debbano salvare subito coloro che sono meno resistenti, in teoria donne e bambini, ma in pratica anche anziani. Ho inserito dunque nel database "DB definitivoClassi operativo funzione.accdb" una tabella "Funzione\_età" e una query che assegnasse determinati valori costanti per intervalli di età; in particolare si è pensato col prof. Tubertini di assegnare un valore 0,9 ai pazienti con età inferiore ai 19 anni, 0,3 a quelli compresi tra i valori 19-65, e 0,7 ai soggetti con più di 65 anni di età. Si è poi andato a sostituire tale valore della funzione nel "peso" della query di riempimento di "ListaAttesaOpt"; il risultato è stato dunque una discretizzazione che rendesse meno generico il concetto di rischio della prima configurazione. Chiaramente laddove il valore di funzione età è più alto, più grande sarà il peso del paziente e dunque prima il modello cercherà di schedarlo. In seguito mi riferirò a questa scelta attraverso le diciture: esposizione al rischio2, funzione età, func. Si rimanda al paragrafo 3.4 per i calcoli e al capitolo 4 per i risultati.

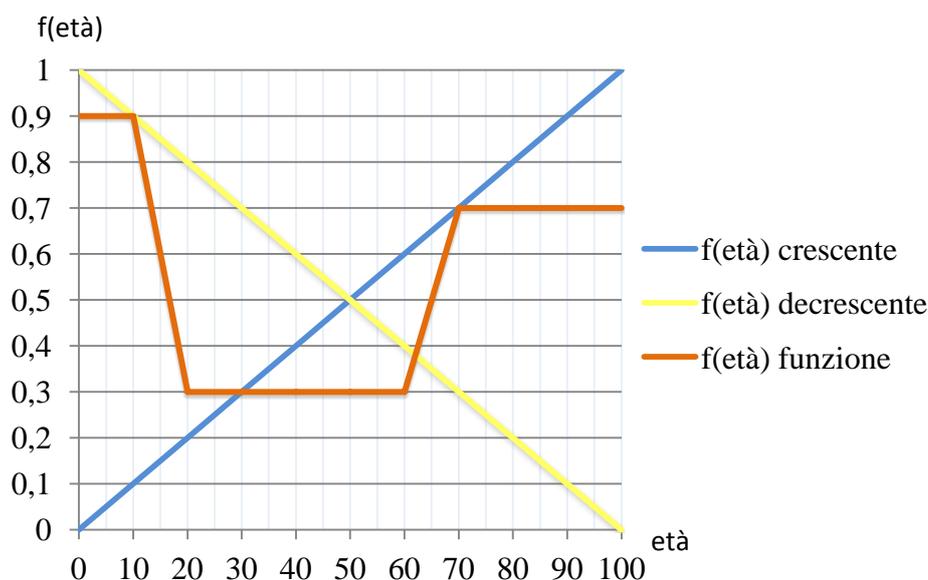


Tabella 6-Funzione dell'età nei diversi casi considerati

### 3.3.2 Il codice asa

acronimo che sta per American Society of Anesthesiology, classificazione che inquadra il paziente, che deve essere sottoposto ad intervento chirurgico, in una classe di rischio

“E’difficile scindere il rischio anestesiológico da quello chirurgico: è fin troppo evidente come sia diverso, a parità di condizioni generali, affrontare un intervento per ernia inguinale o una gastrectomia”. In virtù di queste considerazioni la Società Americana di Anestesia ha stilato una classificazione dello stato fisico di un paziente, adottato universalmente e riportato su tutte le cartelle anestesiológicas. Al fine di rendere più comprensibile la classificazione, verranno riportate le classificazioni in tabella 7.

Codice ASA	Indice di mortalità	Definizione
1	0,1	Normale, in buona salute, nessun disturbo organico, fisiologico, biochimico o psichiatrico. La malattia per la quale viene effettuato l'intervento è localizzata e non può ingenerare disturbi sistemici.
2	0,2	Paziente con malattia sistemica da lieve a moderata, causata sia dalla condizione morbosa per la quale viene effettuato l'intervento che da altre patologie. Ipertensione arteriosa ben controllata, storia di asma, anemia, uso di sigarette, diabete ben controllato, obesità lieve, età < 1 anno >70 anni, gravidanza
3	1,18	Paziente con disturbo sistemico severo o malattia di qualunque natura, anche se non è possibile definirne con certezza la gravità. Angina, stato post-infartuale, ipertensione arteriosa non controllata, malattia respiratoria sintomatica (asma, BPCO = bronco- pneumopatia-cronica-ostruttiva)

<b>4</b>	<b>7,8</b>	Paziente con disturbo sistemico severo che lo pone in pericolo di vita, non sempre correggibile dall'intervento quando la causa è la malattia per la quale viene operato Angina instabile, insufficienza cardiaca congestizia, malattia respiratoria debilitante, insufficienza epatica e/o renale
<b>5</b>	<b>9,4</b>	Paziente moribondo che ha poche chance di sopravvivenza, ma viene comunque sottoposto ad intervento per un estremo tentativo

Tabella 7-Classificazione asa (17)

In caso di urgenza viene aggiunta la lettera E (Emergency): il paziente che venga operato in urgenza qualsiasi sia la classe a cui appartiene, viene considerato in condizioni fisiche compromesse. Nonostante la sua apparente semplicità, resta una delle classificazioni dell'individuo più correlate al rischio dell'anestesia e dell'intervento. Utile e applicabile a tutti i pazienti, viene universalmente utilizzato, anche al di fuori del campo anestesilogico.

Nella seconda colonna della tabella è espresso un indice di mortalità a seguito di anestesia e intervento chirurgico distinti per classe. Indici che andrebbero aggiornati periodicamente, a pari passo con i costanti progressi che l'anestesiologia compie, sia nel campo della sicurezza che delle conoscenze e di nuove metodiche (17).

### **3.3.3 La classe di urgenza**

Valore compreso tra 1 e 3, esprime il grado di pericolosità del tipo di operazione, e quindi indicante l'urgenza con cui va affrontata quel tipo di patologia. Lo studio di tale valore è stato sviluppato in un'altra sede, i risultati sono riportati nei database a cui si fa riferimento con il modello.

### **3.4 Applicazione al modello**

Per schematizzare e rendere automatica l'applicazione a tutti i dati si è fatto uso del software Microsoft Excel prima, inserendo i risultati ottenuti, poi, nei database di

Microsoft Access, compilati in altre fasi del progetto. Per meglio chiarire le formule usate si propone un esempio di calcolo del “peso”; si consideri il paziente 1 come lo presenta in lista il database:

ID paziente	Sesso	Data ingresso	Età	Asa	ID tipo intervento
1	m	02-feb-15	18	1	1

Il tipo di intervento 1 è un’ablazione aperta di tessuto o lesione renali (cl.d.urg.=2). Nel foglio di lavoro viene tradotto in:

id	età	asa	classe di urgenza
1	18	1	2

I calcoli, ad esempio, nel caso della configurazione crescente saranno:

$$\frac{18}{100} \times 0.070069 + \frac{1}{4} \times 0.4205 + \frac{2}{3} \times 0.5094 = 0,457349282$$

A differenza del caso a configurazione decrescente in cui avremo:

$$\left(1 - \frac{18}{100}\right) \times 0.070069 + \frac{1}{4} \times 0.4205 + \frac{2}{3} \times 0.5094 = 0,502193514$$

Infine osserviamo come ottenere il peso se uso la funzione età:

$$0.9 \times 0.070069 + \frac{1}{4} \times 0.4205 + \frac{2}{3} \times 0.5094 = 0,507799043$$

Si inseriscono di seguito i risultati della ricerca del fattore “peso”.

pairwise comparison			
	età	asa	classe di urgenza
età	1	0,2	0,111
asa	5	1	1,000
classe di urgenza	9	1	1,000
sum	15	2,2	2,111

matrice normalizzata			
	età	asa	classe di urgenza
età	0,067	0,091	0,053
asa	0,333	0,455	0,474
classe di urgenza	0,600	0,455	0,474
sum	1	1	1

average W
7,01%
42,05%
50,94%

Tabella 8-Calcolo percentuali di influenza dei tre fattori, con metodo AHP

test consistenza					
	età	asa	classe di urgenza	sum Ws	sum/weight
età	0,070	0,084	0,057	0,211	3,008
asa	0,350	0,421	0,509	1,280	3,045
classe di urgenza	0,631	0,421	0,509	1,561	3,063
n	3				
lambda	3,039				
CI	0,019				
RI (tab SAATY)	0,58				
CR	0,033				
è consistente?	SI				

Tabella 9- Calcolo consistenza dati

discretizzazione età		
$x < 19$	$19 < x < 65$	$x > 65$
0,9	0,3	0,7

distribuzione pesi senza età	
asa	classe di urgenza
0,25	0,75

**Tabella 10-** Discretizzazione f(età) e percentuali influenza nel caso in cui non si consideri l'età

	peso e.decresc	peso e.cresc	peso con età a funz	peso senza età *
Media	0,6355	0,6511	0,6459	0,6571
Errore standard	0,0062	0,0061	0,0062	0,0072
Mediana	0,6419	0,6478	0,6356	0,6875
Moda	0,2939	0,3261	0,2960	0,9375
Deviazione standard	0,1973	0,1931	0,1987	0,2284
Varianza campionaria	0,0389	0,0373	0,0395	0,0522
Intervallo	0,6753	0,6816	0,6970	0,6875
Minimo	0,2939	0,3058	0,2960	0,3125
Massimo	0,9692	0,9874	0,9930	1,0000
Somma	646,2774	662,1943	656,8845	668,2500
Conteggio	1017,0000	1017,0000	1017,0000	1017,0000
Livello di confidenza(95,0%)	0,0121	0,0119	0,0122	0,0141

**Tabella 11-** Statistica descrittiva dei dati "peso" nelle diverse configurazioni

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	cf	età	età normaliz.cresc.	età normaliz.decreso.	età normaliz.a.funzione	asa	asa normaliz.	classe di urgenza	classe di urgenza normalizz.	peso e.cresc.	peso e.decreso.	peso senza età	peso con età a funz.
2	1	18	0,18	0,82	0,9	1	0,25	2	0,666666667	0,457349282	0,502193514	0,5625	0,507799043
3	2	27	0,27	0,73	0,3	3	0,75	1	0,333333333	0,504112706	0,536344498	0,4375	0,506214779
4	3	39	0,39	0,61	0,3	4	1	1	0,333333333	0,617651249	0,633066454	0,5	0,611345029
5	4	56	0,56	0,44	0,3	2	0,5	2	0,333333333	0,419302499	0,410894205	0,375	0,40108453
6	5	78	0,78	0,22	0,7	3	0,75	1	0,666666667	0,709651249	0,670412547	0,6875	0,70404572
7	6	18	0,18	0,82	0,9	1	0,25	2	0,666666667	0,457349282	0,502193514	0,5625	0,507799043
8	7	27	0,27	0,73	0,3	3	0,75	2	0,666666667	0,673916002	0,706147794	0,6875	0,676018075
9	8	18	0,18	0,82	0,9	4	1	3	1	0,942543328	0,98738756	1	0,992993089
10	9	27	0,27	0,73	0,3	3	0,75	2	0,666666667	0,673916002	0,706147794	0,6875	0,676018075
11	10	39	0,39	0,61	0,3	4	1	2	0,666666667	0,787454545	0,80286975	0,75	0,781148325
12	11	56	0,56	0,44	0,3	2	0,5	2	0,666666667	0,589105795	0,580697501	0,625	0,570887826
13	12	78	0,78	0,22	0,7	1	0,25	3	1	0,669194046	0,629955343	0,8125	0,663588517
14	13	18	0,18	0,82	0,9	3	0,75	3	1	0,837413078	0,88225731	0,9375	0,887862839
15	14	27	0,27	0,73	0,3	1	0,25	3	1	0,633458799	0,66569059	0,8125	0,635560872
16	15	39	0,39	0,61	0,3	3	0,75	3	1	0,852127592	0,867542796	0,9375	0,845821372
17	16	56	0,56	0,44	0,3	1	0,25	2	0,666666667	0,483975545	0,475567251	0,5625	0,465757576
18	17	78	0,78	0,22	0,7	3	0,75	2	0,666666667	0,709651249	0,670412547	0,6875	0,70404572
19	18	18	0,18	0,82	0,9	4	1	2	0,666666667	0,772740032	0,817584264	0,75	0,823189793
20	19	27	0,27	0,73	0,3	2	0,5	3	1	0,738589048	0,77082084	0,875	0,740691122
21	20	18	0,18	0,82	0,9	3	0,75	2	0,666666667	0,667609782	0,712454014	0,6875	0,718059543
22	21	27	0,27	0,73	0,3	1	0,25	3	1	0,633458799	0,66569059	0,8125	0,635560872
23	22	39	0,39	0,61	0,3	3	0,75	3	1	0,852127592	0,867542796	0,9375	0,845821372
24	23	56	0,56	0,44	0,3	4	1	3	1	0,969169591	0,960761297	1	0,950951621
25	24	78	0,78	0,22	0,7	3	0,75	1	0,333333333	0,539847953	0,50060925	0,4375	0,534242424
26	25	78	0,78	0,22	0,7	4	1	1	0,333333333	0,644978203	0,6057395	0,5	0,639372674
27	26	18	0,18	0,82	0,9	2	0,5	2	0,666666667	0,562479532	0,607323764	0,625	0,612929293
28	27	27	0,27	0,73	0,3	1	0,25	1	0,333333333	0,293852206	0,326083998	0,3125	0,29595428
29	28	18	0,18	0,82	0,9	3	0,75	3	1	0,837413078	0,88225731	0,9375	0,887862839
30	29	27	0,27	0,73	0,3	1	0,25	1	0,333333333	0,293852206	0,326083998	0,3125	0,29595428
31	30	18	0,18	0,82	0,9	3	0,75	1	0,333333333	0,497806486	0,542650718	0,4375	0,548256247
32	31	27	0,27	0,73	0,3	3	0,75	2	0,666666667	0,673916002	0,706147794	0,6875	0,676018075
33	32	39	0,39	0,61	0,3	4	1	1	0,333333333	0,617651249	0,633066454	0,5	0,611345029
34	33	56	0,56	0,44	0,3	3	0,75	2	0,666666667	0,694236045	0,685827751	0,6875	0,676018075
35	34	78	0,78	0,22	0,7	4	1	2	0,666666667	0,814781499	0,775542796	0,75	0,80917597
36	35	18	0,18	0,82	0,9	2	0,5	2	0,666666667	0,562479532	0,607323764	0,625	0,612929293
37	36	27	0,27	0,73	0,3	1	0,25	3	1	0,633458799	0,66569059	0,8125	0,635560872
38	37	18	0,18	0,82	0,9	3	0,75	2	0,666666667	0,667609782	0,712454014	0,6875	0,718059543
39	38	27	0,27	0,73	0,3	1	0,25	2	0,666666667	0,463655502	0,495887294	0,5625	0,465757576
40	39	39	0,39	0,61	0,3	3	0,75	1	0,333333333	0,512520999	0,527936204	0,4375	0,506214779
41	40	56	0,56	0,44	0,3	1	0,25	2	0,666666667	0,483975545	0,475567251	0,5625	0,465757576
42	41	78	0,78	0,22	0,7	3	0,75	1	0,333333333	0,539847953	0,50060925	0,4375	0,534242424
43	42	18	0,18	0,82	0,9	4	1	1	0,333333333	0,602936736	0,647780968	0,5	0,653386497
44	43	27	0,27	0,73	0,3	2	0,5	1	0,333333333	0,398982456	0,431214248	0,375	0,40108453
45	44	39	0,39	0,61	0,3	3	0,75	3	1	0,852127592	0,867542796	0,9375	0,845821372
46	45	56	0,56	0,44	0,3	1	0,25	1	0,333333333	0,314172249	0,305763955	0,3125	0,29595428
47	46	78	0,78	0,22	0,7	3	0,75	1	0,333333333	0,539847953	0,50060925	0,4375	0,534242424
48	47	18	0,18	0,82	0,9	4	1	3	1	0,942543328	0,98738756	1	0,992993089
49	48	27	0,27	0,73	0,3	2	0,5	1	0,333333333	0,398982456	0,431214248	0,375	0,40108453
50	49	18	0,18	0,82	0,9	3	0,75	2	0,666666667	0,667609782	0,712454014	0,6875	0,718059543
51	50	27	0,27	0,73	0,3	1	0,25	1	0,333333333	0,293852206	0,326083998	0,3125	0,29595428
52	51	39	0,39	0,61	0,3	3	0,75	1	0,333333333	0,512520999	0,527936204	0,4375	0,506214779
53	52	56	0,56	0,44	0,3	4	1	1	0,333333333	0,629562998	0,621154705	0,5	0,611345029

Figura 4-Visualizzazione dei risultati del calcolo del “peso” per i pazienti nelle diverse configurazioni

## 4. Risultati

Osservando la funzione obiettivo, come anticipato al capitolo 2, si possono distinguere due membri: il primo in cui si penalizza il modello, per ogni giorno in cui il paziente non è associato a una sala operatoria, tramite il relativo “peso”; il secondo membro, invece, incrementa di  $M$  la funzione obiettivo in caso di non assegnazione di quel soggetto in nemmeno uno dei  $t$  giorni. Per la presenza di questo binomio, in seguito a ripetute prove, si è convenuto fosse più corretto modificare il valore di “peso”, il quale assume valori inferiori a 1, rispetto  $M$ , che è di una grandezza superiore per scelte strutturali. Per mantenere equilibrata la funzione obiettivo si è deciso, quindi, di assegnare a “peso” un fattore moltiplicativo pari a 8.

Si è scelto per semplificare la simulazione di prendere un campione pari a 53 pazienti. Il software applicativo CPLEX Studio IDE permette la visione degli output già in forma tabulata. Portando tali valori su fogli di lavoro di Microsoft Excel si è potuto analizzare in modo più agevole i dati.

Di seguito si riportano le schedulazioni delle sale operatorie nelle varie alternative considerate al capitolo precedente.

schedulazione-caso peso età crescente(esposizione al rischio)									
nome		nbOR		Day(size 5)		Period(size 72)	durata	peso	età
43	operato in sala	1	giorno	1	periodo	1	26	3,192	27
6	operato in sala	3	giorno	1	periodo	1	40	3,659	18
4	operato in sala	2	giorno	1	periodo	2	6	3,354	56
23	operato in sala	4	giorno	1	periodo	3	5	7,753	56
22	operato in sala	1	giorno	1	periodo	5	8	6,817	39
41	operato in sala	3	giorno	1	periodo	8	65	4,319	78
34	operato in sala	4	giorno	1	periodo	8	10	6,518	78
8	operato in sala	1	giorno	1	periodo	8	11	7,540	18
12	operato in sala	2	giorno	1	periodo	10	16	5,354	78
36	operato in sala	3	giorno	1	periodo	11	28	5,068	27
16	operato in sala	1	giorno	1	periodo	11	15	3,872	56
25	operato in sala	4	giorno	1	periodo	14	17	5,160	78
18	operato in sala	3	giorno	1	periodo	15	20	6,182	18
50	operato in sala	4	giorno	1	periodo	17	21	2,351	27
31	operato in sala	3	giorno	1	periodo	20	34	5,391	27
51	operato in sala	4	giorno	1	periodo	22	27	4,100	39
24	operato in sala	3	giorno	1	periodo	25	30	4,319	78
33	operato in sala	2	giorno	2	periodo	1	29	5,554	56
27	operato in sala	3	giorno	2	periodo	1	34	2,351	27
15	operato in sala	4	giorno	2	periodo	4	6	6,817	39
28	operato in sala	4	giorno	2	periodo	7	27	6,699	18
40	operato in sala	4	giorno	3	periodo	1	17	3,872	56
32	operato in sala	3	giorno	3	periodo	1	32	4,941	39
30	operato in sala	2	giorno	3	periodo	1	23	3,982	18
10	operato in sala	1	giorno	3	periodo	4	6	6,300	39
13	operato in sala	1	giorno	3	periodo	7	13	6,699	18
42	operato in sala	4	giorno	3	periodo	19	33	4,823	18
47	operato in sala	1	giorno	4	periodo	1	10	7,540	18
38	operato in sala	4	giorno	4	periodo	1	23	3,709	27
37	operato in sala	3	giorno	4	periodo	1	39	5,341	18
45	operato in sala	3	giorno	4	periodo	6	28	2,513	56
14	operato in sala	2	giorno	4	periodo	8	14	5,068	27
49	operato in sala	1	giorno	4	periodo	12	11	5,341	18
5	operato in sala	2	giorno	5	periodo	1	32	5,677	78
3	operato in sala	4	giorno	5	periodo	1	10	4,941	39
2	operato in sala	1	giorno	5	periodo	1	12	4,033	27
1	operato in sala	3	giorno	5	periodo	1	25	3,659	18
9	operato in sala	4	giorno	5	periodo	6	11	5,391	27
11	operato in sala	1	giorno	5	periodo	14	8	4,713	56
35	operato in sala	4	giorno	5	periodo	18	10	4,500	18
39	operato in sala	1	giorno	5	periodo	23	8	4,100	39
21	operato in sala	3	giorno	5	periodo	27	7	5,068	27
44	operato in sala	4	giorno	5	periodo	29	8	6,817	39
53	operato in sala	1	giorno	5	periodo	32	37	7,036	78
7	operato in sala	2	giorno	5	periodo	34	25	5,391	27
26	operato in sala	3	giorno	5	periodo	35	14	4,500	18
48	operato in sala	3	giorno	5	periodo	50	8	3,192	27
52	operato in sala	3	giorno	5	periodo	59	29	5,037	56
20	operato in sala	2	giorno	5	periodo	60	24	5,341	18

**Tabella 12- Schedulazione-caso peso età crescente(esposizione al rischio)**

schedulazione-caso peso età decrescente(aspettativa di vita)									
nome		nbOR		Day(size 5)		Period(size 72)	durata	peso	età
43	operato in sala	1	giorno	1	periodo	1	26	3,450	27
6	operato in sala	3	giorno	1	periodo	1	40	4,018	18
10	operato in sala	2	giorno	1	periodo	2	6	6,423	39
23	operato in sala	4	giorno	1	periodo	3	5	7,686	56
22	operato in sala	1	giorno	1	periodo	5	8	6,940	39
3	operato in sala	2	giorno	1	periodo	5	10	5,065	39
41	operato in sala	3	giorno	1	periodo	8	65	4,005	78
34	operato in sala	4	giorno	1	periodo	8	10	6,204	78
8	operato in sala	1	giorno	1	periodo	8	11	7,899	18
12	operato in sala	2	giorno	1	periodo	10	16	5,040	78
36	operato in sala	3	giorno	1	periodo	11	28	5,326	27
16	operato in sala	1	giorno	1	periodo	11	15	3,805	56
25	operato in sala	4	giorno	1	periodo	14	17	4,846	78
18	operato in sala	3	giorno	1	periodo	15	20	6,541	18
26	operato in sala	4	giorno	1	periodo	17	14	4,859	18
31	operato in sala	3	giorno	1	periodo	20	34	5,649	27
24	operato in sala	3	giorno	1	periodo	25	30	4,005	78
48	operato in sala	1	giorno	2	periodo	1	8	3,450	27
33	operato in sala	2	giorno	2	periodo	1	29	5,487	56
27	operato in sala	3	giorno	2	periodo	1	34	2,609	27
15	operato in sala	4	giorno	2	periodo	4	6	6,940	39
28	operato in sala	4	giorno	2	periodo	7	27	7,058	18
40	operato in sala	4	giorno	3	periodo	1	17	3,805	56
32	operato in sala	3	giorno	3	periodo	1	32	5,065	39
30	operato in sala	2	giorno	3	periodo	1	23	4,341	18
4	operato in sala	1	giorno	3	periodo	1	6	3,287	56
13	operato in sala	1	giorno	3	periodo	7	13	7,058	18
42	operato in sala	4	giorno	3	periodo	19	33	5,182	18
47	operato in sala	1	giorno	4	periodo	1	10	7,899	18
38	operato in sala	4	giorno	4	periodo	1	23	3,967	27
37	operato in sala	3	giorno	4	periodo	1	39	5,700	18
45	operato in sala	3	giorno	4	periodo	6	28	2,446	56
14	operato in sala	2	giorno	4	periodo	8	14	5,326	27
49	operato in sala	1	giorno	4	periodo	12	11	5,700	18
5	operato in sala	2	giorno	5	periodo	1	32	5,363	78
2	operato in sala	4	giorno	5	periodo	1	12	4,291	27
53	operato in sala	1	giorno	5	periodo	1	37	6,722	78
50	operato in sala	3	giorno	5	periodo	1	21	2,609	27
51	operato in sala	3	giorno	5	periodo	6	27	4,223	39
52	operato in sala	3	giorno	5	periodo	10	29	4,969	56
9	operato in sala	4	giorno	5	periodo	14	11	5,649	27
11	operato in sala	4	giorno	5	periodo	26	8	4,646	56
7	operato in sala	2	giorno	5	periodo	34	25	5,649	27
35	operato in sala	4	giorno	5	periodo	35	10	4,859	18
39	operato in sala	1	giorno	5	periodo	39	8	4,223	39
1	operato in sala	3	giorno	5	periodo	40	25	4,018	18
44	operato in sala	4	giorno	5	periodo	46	8	6,940	39
20	operato in sala	2	giorno	5	periodo	60	24	5,700	18
21	operato in sala	3	giorno	5	periodo	66	7	5,326	27

Tabella 13- Schedulazione-caso peso età decrescente(aspettativa di vita)

schedulazione-caso peso età funzione(esposizione al rischio2)									
nome		nbOR		Day(size 5)		Period(size 72)	durata	peso	età
43	operato in sala	1	giorno	1	periodo	1	26	3,209	27
6	operato in sala	3	giorno	1	periodo	1	40	4,062	18
4	operato in sala	2	giorno	1	periodo	2	6	3,209	56
23	operato in sala	4	giorno	1	periodo	3	5	7,608	56
22	operato in sala	1	giorno	1	periodo	5	8	6,767	39
41	operato in sala	3	giorno	1	periodo	8	65	4,274	78
34	operato in sala	4	giorno	1	periodo	8	10	6,473	78
8	operato in sala	1	giorno	1	periodo	8	11	7,944	18
12	operato in sala	2	giorno	1	periodo	10	16	5,309	78
36	operato in sala	3	giorno	1	periodo	11	28	5,084	27
16	operato in sala	1	giorno	1	periodo	11	15	3,726	56
25	operato in sala	4	giorno	1	periodo	14	17	5,115	78
18	operato in sala	3	giorno	1	periodo	15	20	6,586	18
50	operato in sala	4	giorno	1	periodo	17	21	2,368	27
31	operato in sala	3	giorno	1	periodo	20	34	5,408	27
51	operato in sala	4	giorno	1	periodo	22	27	4,050	39
24	operato in sala	3	giorno	1	periodo	25	30	4,274	78
33	operato in sala	2	giorno	2	periodo	1	29	5,408	56
27	operato in sala	3	giorno	2	periodo	1	34	2,368	27
15	operato in sala	4	giorno	2	periodo	4	6	6,767	39
28	operato in sala	4	giorno	2	periodo	7	27	7,103	18
40	operato in sala	4	giorno	3	periodo	1	17	3,726	56
32	operato in sala	3	giorno	3	periodo	1	32	4,891	39
30	operato in sala	2	giorno	3	periodo	1	23	4,386	18
10	operato in sala	1	giorno	3	periodo	4	6	6,249	39
13	operato in sala	1	giorno	3	periodo	7	13	7,103	18
42	operato in sala	4	giorno	3	periodo	19	33	5,227	18
47	operato in sala	1	giorno	4	periodo	1	10	7,944	18
38	operato in sala	4	giorno	4	periodo	1	23	3,726	27
37	operato in sala	3	giorno	4	periodo	1	39	5,744	18
45	operato in sala	3	giorno	4	periodo	6	28	2,368	56
14	operato in sala	2	giorno	4	periodo	8	14	5,084	27
49	operato in sala	1	giorno	4	periodo	12	11	5,744	18
5	operato in sala	2	giorno	5	periodo	1	32	5,632	78
3	operato in sala	4	giorno	5	periodo	1	10	4,891	39
2	operato in sala	1	giorno	5	periodo	1	12	4,050	27
1	operato in sala	3	giorno	5	periodo	1	25	4,062	18
9	operato in sala	4	giorno	5	periodo	6	11	5,408	27
11	operato in sala	1	giorno	5	periodo	14	8	4,567	56
35	operato in sala	4	giorno	5	periodo	18	10	4,903	18
39	operato in sala	1	giorno	5	periodo	23	8	4,050	39
21	operato in sala	3	giorno	5	periodo	27	7	5,084	27
44	operato in sala	4	giorno	5	periodo	29	8	6,767	39
53	operato in sala	1	giorno	5	periodo	32	37	6,991	78
7	operato in sala	2	giorno	5	periodo	34	25	5,408	27
26	operato in sala	3	giorno	5	periodo	35	14	4,903	18
48	operato in sala	3	giorno	5	periodo	50	8	3,209	27
52	operato in sala	3	giorno	5	periodo	59	29	4,891	56
20	operato in sala	2	giorno	5	periodo	60	24	5,744	18

**Tabella 14- Schedulazione-caso peso età funzione(esposizione al rischio2)**

posizione in classifica nei 3 scenari e confronto				
id paz	crescen.	decresc.	function	da cresc a dec
1	37	46	37	↓
2	36	36	36	→
3	35	6	35	↑
4	3	26	3	↓
5	34	35	34	↓
6	2	2	2	→
7	45	43	45	↑
8	8	9	8	↓
9	38	41	38	↓
10	25	3	25	↑
11	39	42	39	↓
12	9	10	9	↓
13	26	27	26	↓
14	32	33	32	↓
15	20	21	20	↓
16	11	12	11	↓
17	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
18	13	14	13	↓
19	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
20	49	48	49	↑
21	42	49	42	↓
22	5	5	5	→
23	4	4	4	→
24	17	17	17	→
25	12	13	12	↓
26	46	15	46	↑
27	19	20	19	↓
28	21	22	21	↓
29	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
30	24	25	24	↓
31	15	16	15	↓
32	23	24	23	↓
33	18	19	18	↓
34	7	8	7	↓
35	40	44	40	↓
36	10	11	10	↓
37	30	31	30	↓
38	29	30	29	↓
39	41	45	41	↓
40	22	23	22	↓
41	6	7	6	↓
42	27	28	27	↓
43	1	1	1	→
44	43	47	43	↓
45	31	32	31	↓
46	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
47	28	29	28	↓
48	47	18	47	↑
49	33	34	33	↓
50	14	38	14	↓
51	16	39	16	↓
52	48	40	48	↑
53	44	37	44	↑

Tabella 15- Posizione in classifica nei tre scenari e confronto

Dopo aver ottenuto le liste di attesa, si è cercato di condurre un'analisi dei dati che permettesse di valutarne la bontà.

In tabella 15 si è mostrato quali fossero le differenze di ordine in lista di attesa per ciascun paziente nelle varie configurazioni. In ultima colonna, un indicatore esprime intuitivamente il cambio di posizione nella lista, dallo scenario in funzione dell'esposizione al rischio (crescente), rispetto a quello delle aspettative di vita (decrescente). Ho dunque individuato quattro casi eclatanti di variazione e li ho riportati in tabella 16, qui li ho confrontati, evidenziando in rosso i pazienti che hanno perso posizioni, e in verde coloro che l'hanno guadagnata.

	paz. 4 (56 anni)		paz. 26 (18 anni)		paz. 48 (27 anni)		paz. 51 (39 anni)	
età normaliz cresc	<u>0,56</u>	3	<u>0,18</u>	46	<u>0,27</u>	47	<u>0,39</u>	16
asa normaliz	0,5		0,5		0,5		0,75	
c.d. urgenza normalizz.	0,333333		0,666667		0,333333		0,333333	
età normaliz delesc	<u>0,44</u>	26 (-23)	<u>0,82</u>	15(+31)	<u>0,73</u>	18(+29)	<u>0,61</u>	39(-23)
asa normaliz	0,5	+ 2 gg	0,5	-4 gg	0,5	-3 gg	0,75	+4 gg
c.d. urgenza normalizz.	0,333333		0,666667		0,333333		0,333333	
età normaliz funz.	<u>0,3</u>	3	<u>0,9</u>	46	<u>0,3</u>	47	<u>0,3</u>	16
asa normaliz	0,5		0,5		0,5		0,75	
c.d. urgenza normalizz.	0,333333		0,666667		0,333333		0,333333	

**Tabella 16-Analisi di quattro casi rilevanti**

In seguito al cambio di configurazione il paziente 4 (56 anni) è stato schedulato 2 giorni più tardi, perdendo 23 posizioni in lista, e il paz. 51 (39 anni) 4 giorni più tardi. Al contrario il paziente 26 (18 anni) ha potuto ottenere un beneficio, guadagnando ben 4 giorni; stessa sorte è toccata al paz. 48.

Curiosamente il paziente 51 nonostante veda crescere il proprio “peso” è costretto ad avere un ritardo dal sistema; probabilmente la causa sta nel fatto che a pari variazioni di condizioni più soggetti in lista hanno ottenuto maggior incremento della propria posizione.

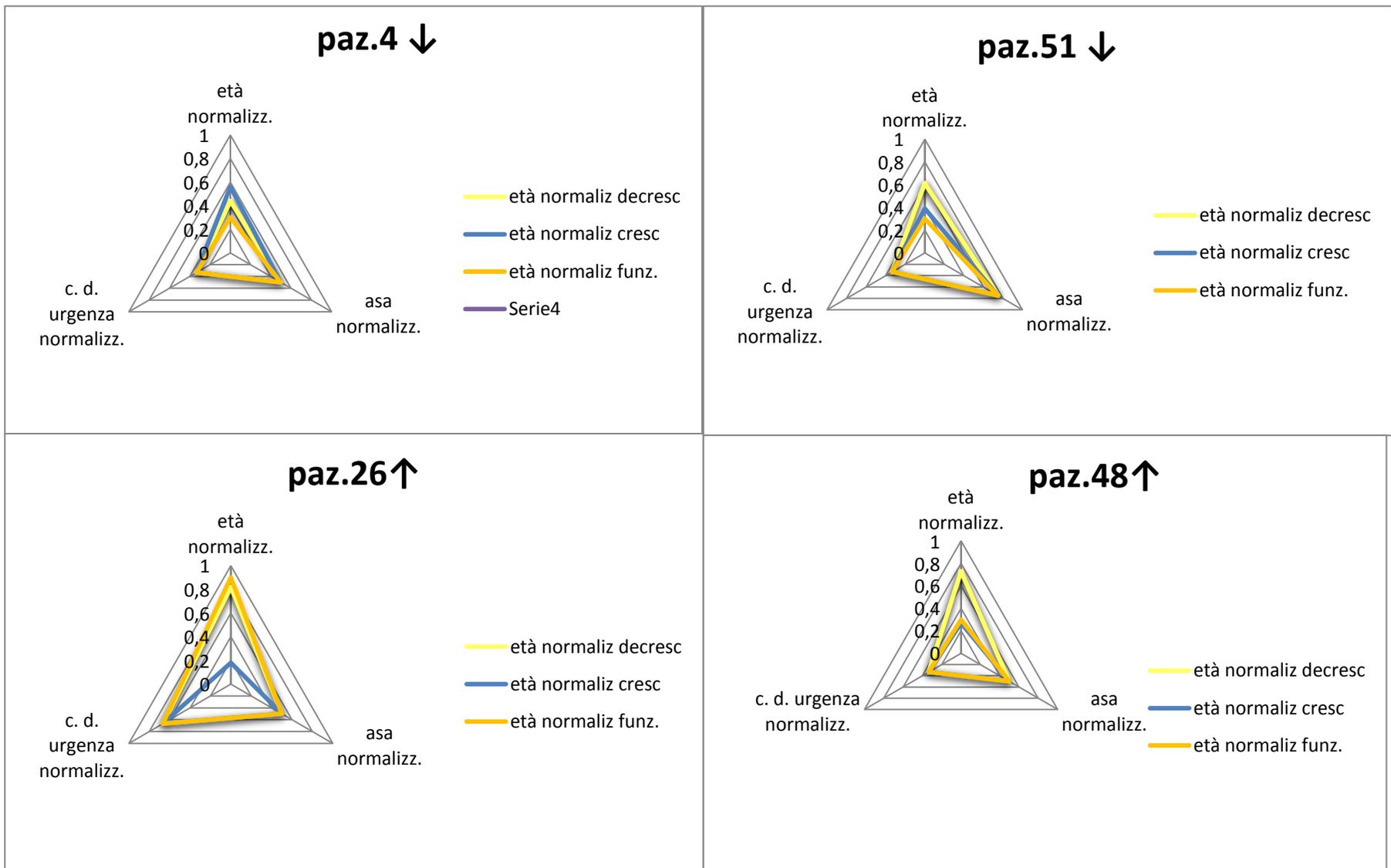


Figura 5-Visualizzazione schematica della distribuzione di “peso” nelle tre configurazioni, per i quattro casi esempio

Con quattro grafici a radar in figura 5 ho cercato di mostrare come le caratteristiche intrinseche del paziente portassero alla variazione della sua precedenza in lista di attesa. Più area è sottesa al grafico più è grande il peso che il paziente avrà in lista e alta sarà la sua priorità. Rigorosamente, come ordine logico nei ragionamenti fatti, si passi dal caso crescente (linea blu) al caso decrescente (linea gialla), in caso contrario si otterrebbe il ribaltamento delle conclusioni.

#### 4.1 Soluzioni alternative

Oltre ai tre scenari proposti e spiegati ce n'è uno di cui non ho ancora parlato, ma di cui ho dovuto tenere conto: il caso in cui la variabilità del peso dell'età fosse troppo alta in funzione delle specialità chirurgiche, e di conseguenza fosse necessario eliminarla dal conteggio di "peso". In tabella 10, 11 e in figura 4 ho predisposto il conteggio, ma vista l'eccessiva semplicità, non ho provato a creare un database apposito.

Inoltre spinto dalla lettura degli articoli (5) e (14), ho valutato l'idea di inserire in funzione obiettivo anche un peso rappresentativo che contasse dell'eventuale presenza di una patologia oncologica nel paziente. Tale informazione negli attuali database non è fornita, ma sarà necessario che venga inserita in una futura implementazione sul campo. Ovviamente che tali pazienti non potranno essere trattati allo stesso modo degli altri.

Volendo modificare la funzione obiettivo si potrebbe considerare una funzione come la seguente:

$$\min \sum_t \sum_p (peso_p + onc_p) \cdot a_{pt} + M \sum_p (\gamma_p + onc_p)$$

Si definirà nel file .mod un dato *onc* in più per ogni paziente, che opererà andando ad incrementare il peso in entrambe i membri della funzione obiettivo qualora vi sia un'accertata o sospetta patologia oncologica, assegnando un valore pari a 1 (0 altrimenti). Il modello, per minimizzare la funzione obiettivo dovrà assegnargli una sala operatoria, ancora prima di un normale paziente con alta priorità. Nel caso in cui *onc* valesse 0, il programma si comporterebbe come nel caso classico, utilizzato finora.

Va ricordato come la ricerca abbia riguardato una parte importante della valutazione del paziente, e come la sua incidenza sul totale del peso fosse del 10% . C'era quindi da aspettarsi che le differenze sui pesi fossero minime, e di conseguenza le diverse configurazioni presentassero pochi cambiamenti. Un risultato non previsto è l'assoluta uguaglianza tra l'ordine della lista di attesa nel caso crescente e quello a funzione, nonostante i pesi e le analisi dei dati in tabella 11 fossero diversi.

Va spiegato che il modello ha dimostrato di funzionare, ma nei risultati proposti non si è riuscito a risolvere la questione del non assegnamento dei pazienti alle sale induzione e risveglio. Bisognerà per questo in futuro apportare alcuni perfezionamenti. Inoltre, nelle tabelle 11, 12 e 13 sono assenti sempre gli stessi 4 pazienti (17,19,29,46) anche questo è un problema a cui non si è riuscito ad arrivare a capo.

## **5. Conclusioni**

L'obiettivo di questa tesi è stato quello di porre questo ambizioso progetto a contatto con la realtà ospedaliera per quanto riguarda la valorizzazione dei pazienti. Più volte nell'elaborato è stato dichiarato l'intento di voler rappresentare attraverso un valore numerico ogni persona che richiede un'operazione in elezione, in modo da soppesare la sua urgenza, la severità delle sue condizioni e le aspettative di beneficio che essa trarrebbe da una riuscita prestazione chirurgica. Il maggior ostacolo riscontrato in questo lavoro è stata la difficile traduzione in numeri di due fattori: da una parte quella che è l'esperienza del medico e le sue sensazioni, dall'altra quelle condizioni del paziente non sempre classificabili in una scala ordinata.

Detto ciò si è fatto il possibile per reperire informazioni sulle più usate tecniche di prioritizzazione attualmente usate, seppur in modo manuale e non informatico, nel sistema sanitario. Le varie configurazioni proposte sono quelle che si è pensato potessero sfruttare al meglio i pochi dati disponibili. Purtroppo, per attenersi alla realtà, si ha dato poca considerazione al fattore età; decisione presa anche seguendo le dritte date dai professionisti con cui ho potuto discutere. Sicuramente col procedere del progetto ci saranno notevoli passi avanti da fare per avvicinare il modello alle reali necessità dei sistemi ospedalieri, e ancora più se i dati a cui si potrà aver accesso saranno maggiormente completi e influenti. Come detto, i tre diversi casi proposti possono essere usati a seconda delle scelte dell'utilizzatore. In particolare la configurazione che sfrutta la funzione creata (esposizione al rischio<sup>2</sup>) è sembrata essere la più adatta; specialmente se i valori di  $f(\text{età})$  verranno valutati più attentamente nelle future modifiche.

## 6. Bibliografia

1. Buccioli, M. Operating Room Management, A New Computed Approach to OR Management. 2012.
2. A. Lodi, P. Tubertini. Pre-operative activities and Operating Theater planning in Emilia-Romagna, Italy.
3. Relazione Generale sulla Situazione Economica del Paese. Ministero dell'Economia e delle Finanze. 2009.
4. Dossier del Servizio sanitario regionale dell'Emilia-Romagna: Le Strutture, La Spesa, Le Attività al 31.12.2013. SSN.
5. Piano nazionale di governo delle liste di attesa per il triennio 2010-2012. SSN.
6. Progetto "Mattoni SSN – Mattone 6 Tempi d'attesa".
7. A. Testi, E. Tanfani, R. Valente, G. L. Ansaldo, G. C. Torre. Prioritizing surgical waiting lists, Journal of Evaluation in Clinical Practice ISSN 1356-1294.
8. IBM. Optimization modeling with IBM ILOG OPL, Instructor workbook.
9. IBM ILOG OPL IDE Tutorial,.
10. L. Colantonio Tesi di laurea in Strumenti di Laboratorio di Ottimizzazione: 2015.
11. S. Russo. Tesi di laurea in fondamenti di ricerca operativa T-A: scheduling delle sale operatorie in emilia romagna. 2015.
12. P. Rossi, tesi di laurea in fondamenti di ricerca operativa t-a, pianificazione tattica delle sale operatorie: implementazione di un modello di ottimizzazione.
13. D. McLeod, S. Morgan, E. McKinlay. Clinicians' reported use of clinical priority assessment. New Zealand, 2004.
14. R. Melotti, A. Negro, E. Amenta, M. Taffurelli, C. Credico, R. Grilli Determinanti della priorità clinica e dei tempi effettivi di attesa per interventi di chirurgia generale. 2006.
15. C. Mocenni, Il Metodo di analisi multicriterio Analytic Hierarchy Process (AHP) .
16. Saaty, T. Decision making with the analytic hierarchy process . Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1. 2008 .
17. Anestesia web online. [Online] [http://www.anestesiaweb.it/inc/class\\_sec\\_asa.htm](http://www.anestesiaweb.it/inc/class_sec_asa.htm).
18. Vitali, M. Tesi di laurea in Fondamenti di Ricerca Operativa T-A: Pianificazione Tattica delle sale operatorie: un modello di ottimizzazione in ambito regionale . 2015.