

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA  
SCUOLA POLITECNICA  
DIBRIS  
DIPARTIMENTO DI INFORMATICA, BIOINGEGNERIA, ROBOTICA E  
INGEGNERIA DEI SISTEMI



# Università di Genova

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN  
INGEGNERIA INFORMATICA  
curr. ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND HUMAN-CENTERED COMPUTING

ANNO ACCADEMICO 2020/2021

## **Tecniche di Intelligenza Artificiale per la schedulazione degli interventi nelle sale operatorie: il caso di studio dell'ASL 1 Liguria**

### **Candidato**

Marco Scanu

### **Relatori**

Prof. Marco Maratea  
Dott. Giuseppe Galatà

### **Correlatore**

Dott. Marco Mochi

## **Abstract**

Il problema della schedulazione degli interventi nelle sale operatorie consiste nell'assegnare i pazienti ad una determinata sala operatoria tenendo in considerazione diversi fattori fondamentali quali la durata dell'operazione, la disponibilità della sala, il reparto al quale l'intervento fa riferimento, la priorità dell'intervento al quale il paziente deve essere sottoposto e la disponibilità di un posto letto se richiesto. In questa tesi, viene affrontato questo problema proponendo una soluzione basata su linguaggi e tool di Intelligenza Artificiale. Inoltre, è stato affrontato anche il problema della rischedulazione, poiché è altrettanto importante saper ricavare una nuova pianificazione in caso di imprevisti che impediscano l'uso di quella già ricavata precedentemente. La soluzione proposta è stata testata su dati reali forniti dall'ASL 1 Liguria.

# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
1.1	Contesto e motivazioni . . . . .	1
1.2	Panoramica dello stato dell'arte . . . . .	2
1.3	Obiettivi della tesi . . . . .	3
1.4	Struttura della tesi . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Dati di input</b>	<b>5</b>
2.1	Descrizione dei dati . . . . .	5
2.2	Pre-elaborazione dei dati . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Definizione del problema</b>	<b>9</b>
3.1	Caratteristiche principali . . . . .	9
3.2	Descrizione della pianificazione . . . . .	10
3.3	Descrizione della ripianificazione . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Answer Set Programming</b>	<b>14</b>
4.1	Sintassi . . . . .	14
4.2	Semantica . . . . .	16
4.3	Metodologia di risoluzione . . . . .	17
<b>5</b>	<b>Pianificazione</b>	<b>19</b>
5.1	Pianificazione dell'ASL . . . . .	19
5.1.1	Input . . . . .	19
5.1.2	Output . . . . .	20
5.1.3	Codifica . . . . .	20
5.2	Ottimizzazione . . . . .	23
5.2.1	Input . . . . .	23
5.2.2	Output . . . . .	23
5.2.3	Scenario 1: codifica . . . . .	24
5.2.4	Scenario 2: codifica . . . . .	25

<b>6</b>	<b>Analisi sperimentali</b>	<b>27</b>
6.1	Bordighera . . . . .	28
6.1.1	Analisi pianificazione dell'ASL . . . . .	28
6.1.2	Analisi dell'ottimizzazione: scenario 1 . . . . .	29
6.1.3	Analisi dell'ottimizzazione: scenario 2 . . . . .	30
6.2	Sanremo . . . . .	32
6.2.1	Analisi pianificazione dell'ASL . . . . .	33
6.2.2	Analisi dell'ottimizzazione: scenario 1 . . . . .	34
6.2.3	Analisi dell'ottimizzazione: scenario 2 . . . . .	39
6.3	Imperia . . . . .	42
6.3.1	Analisi pianificazione dell'ASL . . . . .	43
6.3.2	Analisi dell'ottimizzazione: scenario 1 . . . . .	44
6.3.3	Analisi dell'ottimizzazione: scenario 2 . . . . .	48
6.4	Considerazioni generali . . . . .	51
<b>7</b>	<b>Ripianificazione</b>	<b>52</b>
7.1	Input . . . . .	52
7.2	Output . . . . .	53
7.3	Codifica . . . . .	53
7.3.1	Scenario 1 . . . . .	56
7.3.2	Scenario 2 . . . . .	57
7.3.3	Scenario 3 . . . . .	57
7.4	Analisi dei risultati . . . . .	58
7.4.1	Scenario 1 . . . . .	59
7.4.2	Scenario 2 . . . . .	60
7.4.3	Scenario 3 . . . . .	60
<b>8</b>	<b>Letteratura relativa</b>	<b>62</b>
8.1	Pianificazione degli interventi chirurgici . . . . .	62
8.2	ASP nei problemi di pianificazione . . . . .	63
<b>9</b>	<b>Conclusioni e lavori futuri</b>	<b>66</b>
	<b>Elenco delle tabelle</b>	<b>iv</b>
	<b>Elenco delle figure</b>	<b>vi</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>vii</b>
	<b>Ringraziamenti</b>	<b>x</b>

# Capitolo 1

## Introduzione

### 1.1 Contesto e motivazioni

Una delle aree di maggior rilievo all'interno di un ospedale è quella costituita dalle sale operatorie. Una sala operatoria è uno spazio progettato e attrezzato appositamente per lo svolgimento di procedure anestetiche e interventi chirurgici.

Per via del personale coinvolto e delle attrezzature necessarie, esse comportano dei costi elevati. Inoltre, ogni minuto in cui una sala operatoria rimane inutilizzata comporta un costo che può facilmente superare i €30 (Macario 2010). In generale, come specificato in (Meskens et al. 2013), consumano circa il 33% del budget complessivo disponibile in un ospedale.

In primo luogo, è importante definire il problema della schedulazione degli interventi nelle sale operatorie (Abedini et al. 2016; Molina-Pariente et al. 2015): esso consiste nell'assegnare i pazienti ad una determinata sala operatoria tenendo in considerazione diversi fattori quali la durata dell'operazione, la disponibilità della sala, il reparto al quale l'intervento fa riferimento, la priorità dell'intervento al quale il paziente deve essere sottoposto e la disponibilità di un posto letto se richiesto.

Gli ospedali inoltre, possiedono delle lunghe liste di attesa per gli interventi chirurgici che tendono a peggiorare a causa di pianificazioni inefficienti, andando ad allungare ulteriormente le tempistiche di attesa dell'operazione. A proposito di ciò, una buona pianificazione porterebbe ad una migliore gestione delle sale operatorie e di conseguenza si ovvierebbe a questo problema portando così dei benefici, poiché si andrebbe ad impattare direttamente sul numero di pazienti che possono essere trattati e anche sui tempi di attesa richiesti.

Sulla base di quanto appena detto, una pianificazione efficace ed efficiente degli interventi chirurgici ha acquisito una tale importanza che le strutture sanitarie si sono poste l'obiettivo di riuscire a trovare dei sistemi adeguati per utilizzare le sale operatorie in modo da ridurre al minimo i costi e nel contempo mantenere una buona qualità dell'assistenza sa-

nitaria stessa.

Un altro problema altrettanto importante è quello che riguarda la ripianificazione degli interventi nelle sale operatorie. Può capitare che una pianificazione effettuata in precedenza non possa più essere portata a termine per il verificarsi di un imprevisto, come ad esempio un paziente che, per via di alcune complicazioni insorte all'improvviso, non può più essere operato nel giorno stabilito oppure una sala che prima era disponibile e per qualche motivo risulta non più utilizzabile.

Un caso molto attuale che ha provocato notevoli problemi in ambito medico è quello legato alla pandemia da Covid-19 che ha portato con sé dei disagi inaspettati che ad esempio hanno ridotto i pazienti operabili oppure che hanno diminuito la disponibilità di risorse utili per le operazioni chirurgiche. Di conseguenza, tutti questi fattori comportano che un'eventuale pianificazione fatta precedentemente non sia più praticabile. In queste situazioni è perciò importante saper reagire con prontezza e quindi riuscire a calcolare una nuova pianificazione cercando di riassegnare al meglio tutti gli interventi chirurgici interessati, in modo da ridurre al minimo i disagi che comporta l'impossibilità di completamento della pianificazione originale.

Concludendo, una buona pianificazione e ripianificazione sono essenziali nello sviluppo dell'organizzazione degli interventi nelle sale operatorie, motivo per cui è importante evidenziare quanto sia necessario ottenere delle tecniche sempre più avanzate per far sì che le risorse del sistema sanitario siano utilizzate al meglio e i pazienti più soddisfatti del servizio.

## 1.2 Panoramica dello stato dell'arte

Nella letteratura, è possibile trovare diversi metodi che forniscono una soluzione al problema della schedulazione degli interventi chirurgici nelle sale operatorie. Alcuni approcci rilevanti sono i seguenti: nel lavoro presentato in (Aringhieri et al. 2015) è stato studiato il problema della schedulazione delle sale operatorie su un orizzonte di pianificazione di una settimana, sviluppato tramite una formulazione di programmazione lineare 0-1 del problema e l'utilizzo di una metaeuristica a due livelli per risolverlo. In (Landa et al. 2016), gli autori hanno ideato un algoritmo ibrido di ottimizzazione a due fasi che sfrutta le potenzialità della neighborhood search combinate con la simulazione Monte Carlo per risolvere il problema di pianificazione delle sale operatorie.

Nell'ambito dell'Intelligenza Artificiale, si può citare il lavoro in (Dodaro et al. 2018) dove viene proposta una codifica in *Answer Set Programming* per la schedulazione delle sale operatorie senza tenere conto dell'occupazione dei posti letto. Un'estensione di questo lavoro è stata proposta un anno dopo in (Dodaro et al. 2019) in cui viene considerata la gestione dei posti letto, una risorsa di fondamentale importanza. Gli stessi autori hanno poi presentato un'ulteriore soluzione in (Dodaro et al. 2021b) che estende la precedente, andando a considerare la possibilità di effettuare una rischedulazione nel caso in cui si

verifichino imprevisti che impediscono ad un paziente di essere operato. È importante far presente che nessuna delle ultime soluzioni citate utilizza dati reali.

### 1.3 Obiettivi della tesi

L'obiettivo principale della tesi è quello di fornire una soluzione che permetta la pianificazione e la ripianificazione degli interventi chirurgici nelle sale operatorie prendendo in considerazione il caso reale delle sedi che compongono il servizio ospedaliero dell'ASL 1 Liguria.

Le soluzioni dei lavori appena menzionati sono il punto di partenza dal quale si estende il lavoro proposto in questa tesi, di conseguenza:

- Sono state adattate le soluzioni al caso specifico dell'ASL 1, in particolare sono stati fatti degli accorgimenti per tenere in considerazione la tipologia di ricovero prevista per un intervento e conseguentemente l'assegnazione dei posti letto ai pazienti.
- I modelli di pianificazione e ripianificazione sono stati definiti utilizzando una codifica basata su un linguaggio di Intelligenza Artificiale i cui dettagli saranno descritti nei capitoli successivi.
- Sono state valutate sperimentalmente le soluzioni ottenute sui dati dell'ASL 1, dove per ogni sede sono stati presi in considerazione diversi scenari ed effettuati dei confronti per sottolineare le differenze rilevate.

### 1.4 Struttura della tesi

Dopo aver esposto il contesto e gli obiettivi della tesi, viene mostrato brevemente come essa è articolata:

Nel Capitolo 2 si presentano i dati di input forniti dall'ASL 1 Liguria e viene mostrata l'elaborazione effettuata sui dati stessi prima di essere utilizzati per testare le soluzioni proposte.

Successivamente, nel Capitolo 3 vengono descritti nel dettaglio i vari scenari presi in considerazione per affrontare la pianificazione e la ripianificazione degli interventi chirurgici nelle varie sale operatorie del servizio ospedaliero dell'ASL 1 Liguria.

Si procede con il Capitolo 4, dove per prima cosa viene presentato il linguaggio ASP, utilizzato per sviluppare le soluzioni, di cui vengono mostrate le principali caratteristiche.

Dopodiché, nel Capitolo 5, viene esposta in dettaglio la codifica per eseguire la pianificazione degli interventi chirurgici per le tre sedi ospedaliere gestite dall'ASL 1.

Nel Capitolo 6 viene presentata l'analisi delle soluzioni ottenute riguardo la pianificazione, mostrando i risultati per i vari scenari presi in considerazione.

Nel Capitolo 7 viene illustrata la codifica ASP realizzata per ottenere la ripianificazione, specificando i suoi requisiti e i suoi vincoli. Inoltre verranno presentati i dati ricavati dalla soluzione riguardanti gli scenari trattati.

Proseguendo, si ha il Capitolo 8 nel quale verranno mostrati più in dettaglio i lavori correlati.

Infine, nel Capitolo 9 si giunge alle conclusioni esponendo diverse considerazioni riguardanti possibili lavori futuri.

# Capitolo 2

## Dati di input

In questo capitolo vengono descritti i dati utilizzati per testare la soluzione proposta per la pianificazione e la ripianificazione delle sale operatorie. L'input è costituito da dei dati reali forniti dall'Azienda Sociosanitaria Ligure 1 (ASL 1), l'ente pubblico che si occupa di erogare i servizi sanitari nella provincia di Imperia della regione Liguria.

### 2.1 Descrizione dei dati

Il servizio ospedaliero dell'ASL 1 Liguria si articola su tre stabilimenti o sedi:

- Bordighera
- Sanremo
- Imperia

I dati forniti sono relativi all'anno 2019 e sono organizzati in cinque documenti in formato xls:

1. Il primo file è relativo alla lista operatoria, ovvero la lista degli interventi chirurgici previsti per la settimana presa come riferimento, che va dal 04/03/2019 al 10/03/2019. Contiene svariate informazioni sul reparto e le sale in cui devono essere operati i pazienti, la descrizione e la data dell'intervento richiesto, più altre informazioni sul paziente stesso (età, sesso e data di nascita);
2. Il secondo file riguarda gli interventi svolti: contiene numerosi dettagli su tutti gli interventi svolti nelle tre sedi durante l'anno 2019 (ad esempio la descrizione dell'intervento, la data dell'intervento, l'orario di inizio e fine dell'operazione, e così via). Inoltre, sono presenti anche delle informazioni dei pazienti sottoposti agli interventi (nosologico, età, sesso e data di nascita, diagnosi);

3. Il terzo file contiene la lista delle sale operatorie presenti in ciascuna sede. Inoltre, per ogni sede è presente anche l'intervallo orario in cui è possibile utilizzare le diverse sale;
4. Il quarto file contiene informazioni riguardanti i pazienti ricoverati nei vari reparti alla settimana precedente a quella di riferimento. Ogni paziente ha un nosologico identificativo, un reparto in cui è ricoverato e la data di ingresso e uscita (periodo in cui occupa un letto);
5. Il quinto file riguarda i posti letto deliberati: contiene il numero totale di letti a disposizione per ogni reparto in ogni sede. Queste informazioni sono utili per la gestione dei posti letto da assegnare ad ogni paziente che viene schedato per un intervento durante la settimana.

## 2.2 Pre-elaborazione dei dati

I dati, prima di essere utilizzati, sono stati sottoposti ad una fase di pre-elaborazione.

Perché è importante pre-elaborare i dati?

I dati nel mondo reale sono *sporchi*, nello specifico:

- **incompleti**: manca il valore di alcuni attributi, o mancano del tutto alcuni attributi interessanti;
- **inaccurati**: contengono valori errati o che si discostano sensibilmente da valori attesi;
- **inconsistenti**: situazione in cui si ha la conservazione degli stessi dati in formati diversi in due file diversi.

A questo proposito, sono stati effettuati i seguenti accorgimenti:

- Correzione di errori tipografici e inconsistenze presenti nei singoli attributi;
- Sono stati combinati dati di file differenti per individuare attributi mancanti;
- Sono stati rimossi dei valori duplicati e anche degli attributi irrilevanti ai fini dell'analisi svolta;
- Partendo dagli attributi presenti, sono stati ricavati dei nuovi attributi per facilitare l'analisi successiva.

Dunque, dai dati grezzi descritti poc' anzi sono state estrapolate delle nuove informazioni e riscritte in cinque nuovi file in formato CSV:

1. Il primo file contiene le informazioni sulle prenotazioni riguardanti un paziente e il relativo intervento chirurgico. È caratterizzato dai seguenti campi:
  - Nosologico: codice che identifica un paziente.
  - Reparto: indica il reparto al quale si riferisce l'intervento della prenotazione.
  - Sede: indica la sede alla quale la prenotazione fa riferimento.
  - RegRicov: valore che indica la modalità di ricovero.  
Si identificano tre tipi:
    - Day Surgery
    - Ambulatoriale
    - Ordinario
  - Durata: valore numerico che indica il tempo di sala operatoria richiesto.
  - Ricov: campo che vale 1 se il paziente della registrazione era già ricoverato in ospedale, altrimenti vale 0.
  - In: numero di giorni per il pre-ricovero.
  - Out: numero di giorni per il post-ricovero.
2. Il secondo file concerne le informazioni sulla lista operatoria, per tutte le sedi, nella settimana dal 04/03/2019 al 10/03/2019. I campi sono i seguenti:
  - Nosologico: codice che identifica un paziente.
  - Giorno: indica il giorno in cui è stato svolto l'intervento.
  - Sala: si riferisce alla sala nella quale l'intervento è stato effettuato.
  - Sede: indica la sede della struttura ospedaliera.
3. Il terzo file unisce le informazioni sui posti letto deliberati e quelle dei posti letto occupati dai pazienti che sono ricoverati nella settimana precedente a quella dal 04/03/2019 al 10/03/2019 in modo da ottenere i posti letto effettivamente disponibili per ogni reparto di ciascuna sede nella settimana presa in esame. I campi ricavati sono i seguenti:
  - Reparto: codice del reparto ospedaliero.
  - Sede: nome della sede ospedaliera della quale il reparto fa parte.
  - Posti: numero di posti letto disponibili per quel reparto.

- **Giorno:** indica il giorno in cui è disponibile il numero di posti letto specificato per quel reparto.
4. Il quarto file riguarda i valori che indicano, per ogni sede, in quali giorni una sala operatoria di un reparto (o specialità) è disponibile. Si identificano i campi seguenti:
- **Sala:** nome della sala operatoria.
  - **Reparto:** nome del reparto ospedaliero.
  - **Sede:** nome della sede della struttura ospedaliera.
  - **Giorno:** indica il giorno in cui la sala è disponibile per il reparto specificato.
5. Il quinto file contiene la lista delle sale operatorie di ciascuna sede con informazioni sui tempi massimi di utilizzo per ognuna di esse.
- **Sala:** valore che indica il nome della sala operatoria.
  - **Sede:** sede ospedaliera nella quale si trova la sala operatoria.
  - **TempoMax:** indica il tempo massimo, identificato in minuti, per cui è disponibile la sala operatoria.

I file sopraccitati sono poi stati utilizzati per generare gli elementi di input, sia per la pianificazione che per la ripianificazione descritte più avanti rispettivamente nel Capitolo 5 e Capitolo 7.

# Capitolo 3

## Definizione del problema

In questo capitolo verrà descritto dettagliatamente il problema affrontato: per prima cosa saranno esposte nel dettaglio le caratteristiche di maggior rilievo per poi proseguire spiegando le sezioni in cui è organizzato, relative rispettivamente alla pianificazione e alla ripianificazione degli interventi chirurgici. In ciascuna di esse verranno presentati i relativi input e output e verranno infine delineati gli scenari presi in considerazione.

### 3.1 Caratteristiche principali

Un elemento di fondamentale importanza è quello noto come *prenotazione* relativa ad un intervento chirurgico. L'insieme di queste prenotazioni va a costituire la cosiddetta *lista di attesa per le operazioni chirurgiche*.

Una prenotazione concerne uno specifico paziente, il tipo di operazione al quale si deve sottoporre e il rispettivo reparto. È importante evidenziare che le prenotazioni non sono tutte uguali ma si differenziano sostanzialmente per due fattori:

- La prima differenza si ha in base al *tipo di ricovero* previsto, che ricade in una delle seguenti categorie:

**Day Surgery:** si riferisce alla possibilità di effettuare interventi su pazienti che vengono dimessi nella stessa giornata di ammissione in regime di anestesia locale o totale.

**Ambulatoriale:** è un concetto simile al *day surgery*, definisce la possibilità di effettuare interventi chirurgici di lieve impatto con procedure di anestesia locale.

**Ordinario:** si riferisce a degli interventi chirurgici per i quali il paziente deve essere ricoverato in ospedale per un certo numero di giorni, prima e dopo l'intervento.

- La seconda differenza si evince attraverso il concetto di *priorità*, il quale tipicamente si basa sulla gravità dell'intervento e da quanto tempo la relativa prenotazione è presente in lista d'attesa. In questo caso, nei dati reali utilizzati, non sono presenti questo tipo di informazioni, perciò sono state fatte altre considerazioni e sono state individuate quattro differenti categorie (*P1, P2, P3, P4*), i cui criteri verranno approfonditi nel paragrafo successivo.

Un altro concetto importante è quello del *Master Surgical Schedule* (MSS): rappresenta lo schema delle sale operatorie disponibili per ciascuna specialità (ID) in ogni giorno della settimana. Di seguito è riportato come esempio il MSS per la sede di Sanremo raffigurabile attraverso una semplice tabella:

Sale Op.	Giorno 1	Giorno 2	Giorno 3	Giorno 4	Giorno 5
	ID specialità				
Sala 1	ORT	ORT	ORT	ORT	ORT
Sala 2	-	ORL	ORL	-	-
Sala 3	GSUR	GSUR	-	-	GSUR
Sala 4	-	OST	-	OST	-
Sala C II Piano	OST	-	-	-	OST

Tabella 3.1: Esempio di MSS

Le celle dove è presente il simbolo "-" indicano che la sala non è disponibile per il giorno indicato.

Inoltre, è di estrema rilevanza definire i vincoli principali che il problema in questione deve rispettare per ottenere una soluzione valida. Si identificano nel modo seguente:

**Vincolo di assegnazione delle prenotazioni:** significa che una prenotazione può essere assegnata esclusivamente in un solo giorno della settimana e in una singola sala operatoria.

**Vincolo del tempo di sala operatoria:** specifica che una sala operatoria non può eccedere il tempo massimo di utilizzo per cui è stata messa a disposizione.

**Vincolo dei posti letto:** ha lo scopo di indicare che non è possibile occupare più letti di quelli che sono effettivamente disponibili.

## 3.2 Descrizione della pianificazione

Gli elementi di input della pianificazione sono identificati dalle *prenotazioni*. In generale, gli ospedali possiedono delle lunghe liste di attesa che, come accennato nell'introduzione,

possono peggiorare a causa di una pianificazione inefficiente, perciò è importante trovare un buon approccio per assegnare le prenotazioni alle varie sale operatorie nel miglior modo possibile.

In virtù di quanto ricavato dai dati reali forniti dall'ASL 1 Liguria, viene considerata la lista operatoria pianificata nella settimana presa come riferimento tra il 04/03/2019 e il 10/03/2019.

Il primo obiettivo della pianificazione è quello di verificare se si è in grado di ricavare la stessa assegnazione, per ogni sede, della lista operatoria nella settimana sopraccitata. Nonostante si faccia riferimento ad una settimana, la pianificazione è effettuata su 5 giorni lavorativi (da lunedì a venerdì), che di fatto è molto diffusa negli ospedali italiani.

Successivamente, è stata effettuata un'ottimizzazione in cui considerando un certo insieme di prenotazioni aggiuntive, si è voluto capire se era possibile in qualche maniera assegnare ulteriori pazienti oltre a quelli realmente operati in quella settimana, cercando di sfruttare maggiormente i posti letto rimasti ancora liberi e il tempo delle varie sale operatorie rimasto inutilizzato. Le prenotazioni addizionali sono state selezionate dalla lista complessiva degli interventi chirurgici messa a disposizione nei dati. In particolare, sono state prese in considerazione solo le operazioni svolte nelle settimane successive a quella di riferimento. È in questa situazione che il concetto di priorità, citato precedentemente, diventa fondamentale, infatti le quattro categorie sono state associate secondo i seguenti criteri:

- **P1:** si riferisce agli interventi della lista operatoria originale, in questo modo si identificano le prenotazioni più importanti che verranno sicuramente assegnate nella pianificazione;
- **P2:** è la priorità che viene associata alla prenotazione il cui intervento è stato selezionato tra quelli effettuati una settimana dopo quella di riferimento;
- **P3:** questa priorità viene assegnata alle prenotazioni selezionate tra gli interventi effettuati due settimane dopo quella di riferimento;
- **P4:** la priorità più bassa viene destinata alle prenotazioni scelte tra gli interventi effettuati dalla terza settimana in poi.

In particolare per la fase di ottimizzazione sono stati osservati due scenari:

- Scenario 1: consiste nell'assegnare tutte le prenotazioni P1 nel modo più opportuno e successivamente tutte quelle con priorità inferiori, dando maggior peso alle P2, poi alle P3 e infine alle P4.
- Scenario 2: in questo caso vengono assegnate tutte le prenotazioni P1 nella stessa sala e nello stesso giorno della pianificazione originale dell'ASL. Dopodiché, si cerca di assegnare tutte le altre prenotazioni sulla base delle priorità di ciascuna.

Dunque, l'obiettivo complessivo della pianificazione è quello di assegnare il maggior numero di prenotazioni nelle varie sale operatorie puntando a schedulare tutte le prenotazioni a priorità P1 e poi, se possibile, verranno assegnate quelle a priorità inferiori. L'idea di questo approccio si basa sul fatto che alcuni pazienti che sono stati operati nelle settimane seguenti, in realtà avrebbero potuto subire l'intervento molto prima sfruttando in maniera migliore le risorse a disposizione.

### 3.3 Descrizione della ripianificazione

A causa di alcuni imprevisti, può accadere che una pianificazione effettuata in precedenza non possa più essere portata a termine. Negli ospedali è frequente che si verifichino degli inconvenienti, ad esempio un intervento può durare più del previsto e di conseguenza una sala che in un primo momento era a disposizione non lo sarà più, oppure un paziente può cancellare la sua prenotazione ma è anche possibile che il quadro clinico di un paziente si aggravi e sopraggiungano delle complicazioni tali per cui sia necessario un rinvio dell'intervento.

A tal proposito, è importante saper far fronte alle varie dinamiche che si possono presentare ricalcolando una nuova pianificazione e quindi poter prevenire e ridurre il più possibile eventuali disagi.

Si è preso in considerazione il caso in cui siano sopraggiunti degli imprevisti nel giorno 2 della settimana di riferimento, perciò uno o più interventi che dovevano essere effettuati in quella giornata, per qualche motivo non possono essere più compiuti e di conseguenza devono essere posticipati nei giorni seguenti della settimana. Pertanto, per i giorni successivi è necessario ideare un nuovo assegnamento: tutte le prenotazioni assegnate dal giorno 3 in poi e quelle previste per il giorno 2 che però sono state posticipate, verranno riassegnate.

Dunque, gli elementi di input sono le prenotazioni di una pianificazione effettuata precedentemente relative ai giorni che vengono influenzati dal problema, motivo per cui si effettua la ripianificazione.

In questo specifico caso di studio sono stati osservati tre scenari distinti:

Il primo scenario prevede che le prenotazioni vengano riassegnate focalizzandosi principalmente sulla base delle loro priorità.

Si prosegue in questo modo:

1. Si impone che tutte le prenotazioni di priorità P1 siano riassegnate obbligatoriamente;
2. Dopodiché, si deve minimizzare la differenza tra le prenotazioni presenti nella nuova assegnazione e le prenotazioni nella vecchia assegnazione: in questo modo si

assicura che il maggior numero possibile di assegnazioni della pianificazione originale siano incluse anche in quella nuova. Per fare questo, si sfrutta il fatto che le priorità sono pesate secondo la loro rilevanza, come stabilito nella pianificazione di origine. Quindi si dà la precedenza al riassegnamento delle prenotazioni di priorità P2, poi a quelle di priorità P3 e infine a quelle di priorità P4. Questo viene fatto perché nel caso in cui non ci sia spazio per riassegnare una prenotazione di priorità alta verrà automaticamente rimossa una prenotazione a più bassa priorità;

3. Infine, seppur con meno importanza rispetto alla riassegnazione delle prenotazioni, si punta anche a ridurre il più possibile le differenze tra la nuova pianificazione e quella vecchia. Questa è una caratteristica importante, perché così si limitano i cambiamenti che si devono apportare rispetto ad una previa organizzazione basata sulla pianificazione precedente.

Il secondo scenario è sostanzialmente l'opposto del precedente: il principale obiettivo è quello di ridurre al minimo le differenze tra la nuova e la vecchia pianificazione per poi reinserire più prenotazioni possibili sempre rispettando le priorità. Gli step principali sono i seguenti:

1. Le prenotazioni a priorità P1 vengono sempre inserite inderogabilmente.
2. Successivamente, si assegnano le altre prenotazioni però si dà maggior enfasi nell'assegnarle nel giorno più vicino possibile a quello in cui erano state assegnate nella pianificazione originaria piuttosto che assegnarne il più possibile come in precedenza.

Il terzo scenario, considera che i pazienti il cui intervento è stato posticipato non siano subito disponibili per essere riassegnati nel giorno immediatamente successivo a quello in cui era prevista l'operazione. A tal proposito, viene stabilito, in base alla motivazione del rinvio, un giorno X per ogni paziente che corrisponde al primo giorno utile in cui essi saranno nuovamente disponibili per essere operati.

In questo caso la dinamica è la seguente:

1. I pazienti il cui intervento è stato rimandato, potranno essere riassegnati solamente a partire dal giorno X.
2. Come negli scenari precedenti, i pazienti vengono riassegnati in base alle loro priorità in modo da riassegnare prima tutti quelli a priorità P1 e, nel caso in cui sia possibile inserirne altri, saranno riassegnati i restanti a priorità inferiore, con una precedenza per i P2 rispetto ai P3 e P4 e una precedenza dei P3 rispetto ai P4.
3. Infine, si punta a minimizzare la differenza in termini di giorni tra il giorno X e quello in cui il paziente sarà effettivamente assegnato. Questo viene fatto perché così il paziente sarà assegnato nel giorno più vicino possibile al primo giorno utile in cui è nuovamente abilitato per essere sottoposto all'intervento chirurgico.

# Capitolo 4

## Answer Set Programming

L'*Answer Set Programming* (ASP) (Brewka et al. 2011) è una forma di programmazione logica di tipo dichiarativo, fa parte della categoria dei cosiddetti linguaggi di programmazione a vincoli, questo permette di focalizzarsi sulla descrizione delle proprietà che deve avere la soluzione desiderata. Inoltre, la sua semplice e ricca sintassi e la disponibilità di solver efficienti come CLINGO (Gebser et al. 2016) e WASP (Alviano et al. 2019) la rendono un candidato ideale per affrontare problemi di ricerca complessi, come anche dimostrato da una serie di competizioni internazionali (Gebser et al. 2017, 2020).

### 4.1 Sintassi

Un *atomo* è un'espressione nella forma seguente:

$$p(t_1, \dots, t_n)$$

Dove:

- $p$  è un predicato;
- $t_1, \dots, t_n$  sono i termini.

Un *letterale* può essere un atomo  $p$  (letterale positivo), o la sua negazione *not*  $p$  (letterale negativo). Dato un letterale  $l$ , *not* $l$  rappresenta il suo letterale complementare. Un insieme di letterali  $L$  è detto consistente se, per ogni letterale  $l \in L$ , il suo letterale complementare non è contenuto in  $L$ .

Un termine può indicare una *variabile* oppure una *costante*:

- Le variabili sono stringhe che iniziano con la lettera maiuscola. Invece, si parla di variabile anonima quando in una regola è indicata dal simbolo "\_". Ogni occorrenza del simbolo indica una variabile inutilizzata all'interno del contesto.

- Le costanti possono essere costanti simboliche (stringhe che iniziano con una lettera minuscola), costanti stringa (stringhe tra virgolette) o numeri interi.

Una *funzione aggregato* è della forma  $f(S)$ , dove  $S$  è un set di termini, e  $f$  è un simbolo di una funzione aggregato. Le più comuni funzioni implementate nei sistemi ASP sono le seguenti:

- *#count*, numero di termini;
- *#sum*, somma di interi;
- *#max*, valore massimo tra interi;
- *#min*, valore minimo tra interi;

Un *atomo aggregato* ha la seguente forma:

$$f(S) \prec T$$

Dove:

- $f(S)$  è una funzione aggregato;
- $\prec \in \{<, \leq, >, \geq, \neq, =\}$  è un operatore di confronto;
- $T$  è un termine chiamato *guardia*.

Una regola  $r$  ha la seguente struttura:

$$h_1 \vee \dots \vee h_n : - b_1, \dots, b_m$$

Dove:

- $h_1, \dots, h_n$  sono atomi standard, con  $n \geq 0$  e la disgiunzione  $h_1 \vee \dots \vee h_n$  è chiamata testa di  $r$ .
- $b_1, \dots, b_m$  sono dei letterali, con  $m \geq 0$ , che compongono il corpo di  $r$ .

Inoltre, le regole senza il corpo sono chiamate *fatti* mentre le regole senza la testa sono dette *vincoli*.

Un programma ASP è un insieme di regole *safe*. Una regola  $r$  si dice *safe* se ogni sua variabile appare in almeno un letterale positivo del corpo.

Un *weak constraint* (Buccafurri et al. 2000) ha la forma seguente:

$$:\sim b_1, \dots, b_n. [w@l]$$

Dove:

- $b_1, \dots, b_n$  sono dei letterali;
- $w$  e  $l$  sono dei valori che indicano rispettivamente il *peso* e il *livello*.

In dettaglio, l'elemento  $[w@l]$  viene letto come "peso  $w$  al livello  $l$ " e il peso indica il costo che si paga per la violazione delle condizioni indicate dal vincolo. Il livello è opzionale, diventa di grande rilevanza nel caso in cui vengano utilizzati più *weak constraint* poiché è possibile specificare la priorità per ciascuno di essi.

**Esempio:** Un estratto del programma per creare un team di persone minimizzando i costi di assunzione è riportato di seguito.

$inTeam(P) \mid outTeam(P) : - person(P, Salary).$

L'atomo  $person(P, Salary)$  indica una persona e i suoi termini sono delle variabili, dove  $P$  è l'id della persona e  $Salary$  è il costo della manodopera. Attraverso questa regola una persona può essere assunta oppure no. L'atomo  $inTeam(P)$  è vero quando la persona  $P$  viene assunta, altrimenti è falso. Viceversa,  $outTeam(P)$  è vero quando la persona non viene assunta, altrimenti è falso.

$: - nEmp(N); \#count\{P : inTeam(P)\}! = N$

Con questo vincolo, si controlla che il team sia costituito da  $N$  persone. Dunque, attraverso l'atomo aggregato  $\#count\{P : inTeam(P)\}! = N$  vengono contate le persone nel team e il numero non deve essere diverso da  $N$ .

$:\sim C = \#sum\{Salary : inTeam(P), person(P, Salary)\}. [C]$

Attraverso l'atomo aggregato  $\#sum\{Salary : inTeam(P), person(P, Salary)\}$  vengono sommati i costi della manodopera di ogni persona interna al team e il *weak constraint* si occupa di minimizzarli.

## 4.2 Semantica

Sia  $P$  un programma ASP:

*Herbrand Universe:* indicato da  $U_p$ , è l'insieme di tutte le costanti presenti in  $P$ .

*Literal Herbrand Base:* indicato da  $B_p$ , è l'insieme di tutti i letterali ground derivabili dai predicati in  $P$  e le costanti in  $U_p$ .

*Istanziamento Ground:* è l'insieme di tutte le istanze ground delle regole di  $P$  che possono essere ottenute sostituendo le variabili con le costanti da  $U_p$ .

*Interpretazione*: è un insieme di letterali ground  $I \subseteq B_p$ . Un letterale ground  $l$  è vero rispetto ad  $I$  se  $l \in I$ , altrimenti è falso. Un letterale  $notl$  è vero rispetto ad  $I$  se  $l \notin I$ , altrimenti è falso.

*Soddisfazione*: una regola  $r$  è soddisfatta da  $I$  se almeno un atomo nella testa è vero rispetto ad  $I$  e tutti i letterali del corpo di  $r$  sono veri rispetto ad  $I$ .

*Modello*: un'interpretazione  $I$  è un *modello* per  $P$  se tutte le regole in  $P$  sono soddisfatte da  $I$ . Inoltre, un'interpretazione  $I$  è un *modello minimo* per  $P$  se ogni  $I' \subseteq I$  non è un modello per  $P$ .

*Ridotta*: dato un programma ground  $G_p$  e un'interpretazione  $I$ , la *ridotta* di  $G_p$  rispetto ad  $I$  è il sottoinsieme  $G_p^I$  di  $G_p$  ottenuto eliminando da  $G_p$  le regole in cui un letterale nel corpo è falso rispetto ad  $I$ .

*Answer set*: un *answer set* o modello stabile è un'interpretazione  $I$  per  $P$  se  $I$  è un modello minimo per  $G_p^I$  (Faber et al. 2011).

*Answer set ottimo*: dato un programma con *weak constraints*  $\Pi \langle P, W \rangle$ , la semantica di  $\Pi$  viene estesa dal caso base definito sopra. Sia  $G_\Pi = \langle G_p, G_w \rangle$  l'istanza di  $\Pi$ ; un vincolo  $\omega \in G_w$  è violato da un'interpretazione  $I$  se tutti i letterali in  $\omega$  sono veri rispetto a  $I$ . Un *answer set ottimo* di  $\omega$  è un answer set di  $G_p$  che minimizza la somma dei pesi dei weak constraints violati in  $G_w$  con ordine prioritario.

### 4.3 Metodologia di risoluzione

La tipica metodologia di risoluzione seguita da un sistema ASP è mostrata in figura 4.1:

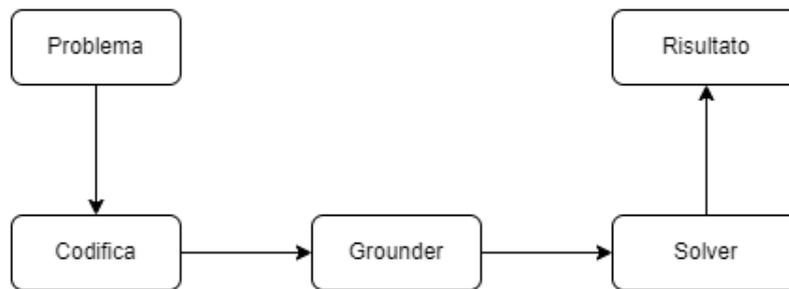


Figura 4.1: Metodologia di risoluzione

Si articola in cinque componenti:

1. **Problema**: indica il problema che deve essere modellato in maniera opportuna per essere risolto.

2. Codifica: l'idea dell'ASP è di rappresentare un problema computazionale attraverso un programma costituito da un insieme di regole costruite come mostrato in precedenza.
3. Grounder: tipicamente il programma in input contiene delle variabili, perciò il *grounder* effettua l'operazione cosiddetta di *grounding* che rimuove tali variabili nel programma.
4. Solver: si occupa di generare i set di risposte (answer set) del programma.
5. Risultato: i set di risposte generati dal *solver* corrispondono alla soluzione del problema.

# Capitolo 5

## Pianificazione

In questo capitolo verrà esposta la codifica ASP spiegando in dettaglio le regole e vincoli utilizzati per effettuare la pianificazione descritta nel Capitolo 3. Inoltre verranno mostrate le regole aggiuntive necessarie per mettere in atto un'ottimizzazione della pianificazione dell'ASL in due scenari distinti.

### 5.1 Pianificazione dell'ASL

#### 5.1.1 Input

I dati di input sono descritti dai seguenti atomi:

*registration*(*NOSOLOGICAL*, *P*, *SPECIALTY*, *REG*, *TIMING*, *RICOV*, *IN*, *OUT*): rappresenta una prenotazione caratterizzata dal codice del paziente (*NOSOLOGICAL*), la priorità dell'intervento al quale deve essere sottoposto (*P*), il tipo di ricovero (*REG*), il codice della specialità al quale fa riferimento l'intervento (*SPECIALTY*), la durata stimata dell'intervento (*TIMING*), la data di ricovero (*IN*), la data di dimissione (*OUT*) e l'indicazione se il paziente è già ricoverato in ospedale oppure no (*RICOV*). In questo caso si hanno solamente le prenotazioni relative agli interventi nella lista operatoria originale, quindi sono tutte a priorità P1.

*mss*(*OR*, *SPECIALTY*, *DAY*): rappresenta un'istanza del *Master Surgical Schedule*, il quale indica la disponibilità di una determinata sala operatoria (*OR*), per una certa specialità (*SPECIALTY*), in un determinato giorno della settimana (*DAY*).

*beds*(*N*, *SPECIALTY*, *DAY*): rappresenta la disponibilità dei letti in un reparto, è caratterizzato dal numero di letti disponibili (*N*), dal codice del reparto (*SPECIALTY*) e dal giorno della settimana (*DAY*).

*givenSchedule(NOSOLOGICAL, DAY, OR)*: indica l'assegnazione originale di un paziente nella lista operatoria effettuata dall'ASL. È caratterizzato dal codice del paziente (NOSOLOGICAL), dalla sala operatoria (OR) e dal giorno in cui è stato assegnato (DAY).

### 5.1.2 Output

Gli elementi di output sono i seguenti:

*x(NOSOLOGICAL, P, OR, SPECIALTY, DAY, TIMING)*: sono le istanze che compongono la pianificazione, ognuna di esse indica che l'intervento del paziente (NOSOLOGICAL) con una determinata priorità (P) e una certa durata (TIMING), è stato assegnato ad una sala operatoria (OR), in un dato reparto (SPECIALTY) e in uno specifico giorno della settimana (DAY).

Gli elementi dell'output avranno tutti priorità massima (P1) dal momento che l'obiettivo è ricavare la medesima pianificazione effettuata dall'ASL.

### 5.1.3 Codifica

Di seguito sono riportate le regole che compongono la codifica ASP utilizzata. La pianificazione per ogni sede è stata calcolata separatamente in quanto le sedi sono tra loro indipendenti, però la codifica realizzata è la stessa per tutte e tre.

La regola  $r_1$  è la seguente:

```
{x(NOSOLOGICAL, P, OR, SPECIALTY, DAY, TIMING)} :-
    registration(NOSOLOGICAL, P, SPECIALTY, _, TIMING, _, _, _),
    mss(OR, SPECIALTY, DAY).
```

Questa regola indica che una prenotazione sarà assegnata, tramite la metodologia *Guess and Check*, in un determinato giorno (DAY), in una sala disponibile (OR), come specificato dal MSS, nella specialità a cui l'intervento fa riferimento (SPECIALTY).

Successivamente, si hanno i seguenti vincoli, rispettivamente  $r_2$  ed  $r_3$ :

```
:- x(NOSOLOGICAL, _, _, _, DAY1, _),
    x(NOSOLOGICAL, _, _, _, DAY2, _), DAY1 != DAY2.
```

```
:- x(NOSOLOGICAL, _, OR1, _, _, _),
    x(NOSOLOGICAL, _, OR2, _, _, _), OR1 != OR2.
```

Questa coppia di vincoli serve per rispettare il cosiddetto *vincolo di assegnazione delle prenotazioni*:

- Vincolo  $r_2$ : indica che non deve essere vero che la stessa prenotazione (NOSOLOGICAL) sia assegnata in due giorni diversi tra loro (DAY1 != DAY2).
- Vincolo  $r_3$ : indica che non deve essere vero che la stessa prenotazione (NOSOLOGICAL) sia assegnata in due sale differenti (OR1 != OR2).

Dopodiché, si ha il vincolo  $r_4$ :

```
:- mss(OR,_,DAY), #sum{TIMING,NOSOLOGICAL :
    x(NOSOLOGICAL,_,OR,_,DAY,TIMING)} > timeMax.
```

Questo vincolo serve per rispettare il cosiddetto *vincolo del tempo di sala operatoria*, poiché non è concesso utilizzare una sala per un tempo maggiore di quello per cui è stata resa disponibile. Vengono, di conseguenza, sommate le durate dei singoli interventi chirurgici effettuati in una stessa sala (OR) per ogni giorno (DAY) e tale somma non deve eccedere il tempo massimo a disposizione per quella sala (timeMax).

Proseguendo, si hanno le regole  $r_5$  ed  $r_6$ :

```
stay(NOSOLOGICAL,SPECIALTY,DAY-IN..DAY-1) :-
    registration(NOSOLOGICAL,_,SPECIALTY,"Ordinario",
        _,0,IN,_), IN > 0, x(NOSOLOGICAL,_,_,SPECIALTY,DAY,_).
```

```
stay(NOSOLOGICAL,SPECIALTY,DAY..OUT+DAY) :-
    registration(NOSOLOGICAL,_,SPECIALTY, "Ordinario",
        _,0,_,OUT), OUT >= 0, x(NOSOLOGICAL,_,_,SPECIALTY,DAY,_).
```

Queste regole servono per assegnare un posto letto ad ogni paziente che viene inserito nella pianificazione per essere operato. In particolare:

- Regola  $r_5$ : questa regola riguarda il ricovero del paziente in ospedale prima dell'intervento. Se è previsto un pre-ricovero (IN > 0), si occupa di assegnare un posto letto al paziente (NOSOLOGICAL) dal primo giorno di ricovero (DAY-IN) fino al giorno prima dell'intervento (DAY-1), nel reparto specificato dalla prenotazione (SPECIALTY).
- Regola  $r_6$ : questa regola riguarda il ricovero del paziente in ospedale dopo l'intervento. Si occupa di assegnare un posto letto al paziente (NOSOLOGICAL) per il giorno dell'intervento (DAY) e per ogni giorno successivo fino alla data di dimissione prevista (DAY+OUT), nel reparto specificato dalla prenotazione (SPECIALTY).

Il posto letto viene assegnato solamente se per il paziente è previsto un ricovero di tipo "ordinario" e se non è già ricoverato in ospedale dalla settimana precedente (RICOV=0), perché in quel caso occuperebbe già un letto.

Subito dopo si ha il vincolo  $r_7$ :

```
:- beds(N, SPECIALTY, DAY),
   #count{NOSOLOGICAL : stay(NOSOLOGICAL, SPECIALTY, DAY)} > N.
```

Il suddetto vincolo serve per rispettare il cosiddetto *vincolo dei posti letto*, dal momento che non è possibile eccedere il numero di posti letto disponibili in un reparto. Viene effettuato il conteggio del numero di posti letto assegnati per quel giorno (DAY) in ciascun reparto (SPECIALTY) e tale numero non deve essere maggiore del numero massimo di letti a disposizione in quello stesso giorno.

È importante far presente che per la sede di *Bordighera*, dal momento che nei dati non si hanno informazioni sui posti letto deliberati, le procedure chirurgiche sono considerate tutte di tipo *Day Surgery* e *Ambulatoriali* perciò non è interessata da queste regole.

D'altro canto, sono di fondamentale importanza per le sedi di *Sanremo* e *Imperia* poiché per poter assegnare un intervento ad una sala operatoria, oltre alla disponibilità della sala, si deve avere anche la disponibilità di un letto per il paziente, se necessario, nel reparto in questione.

Una volta che sono stati effettuati tutti gli accorgimenti riguardo alle sale e i letti, bisogna controllare le prenotazioni assegnate. A proposito di ciò, si ha la regola  $r_8$ :

```
unassignedRegs(N) :- N = totRegs - M,
   M = #count{NOSOLOGICAL : x(NOSOLOGICAL, _, _, _, _, _)}.
```

La regola  $r_8$  ha lo scopo di calcolare il numero di eventuali prenotazioni non assegnate, infatti viene calcolato il numero di prenotazioni assegnate (M) e viene sottratto al totale delle prenotazioni a disposizione (totRegs).

Successivamente, si introduce il vincolo  $r_9$ :

```
:- unassignedRegs(N), N > 0.
```

Attraverso  $r_9$  si fa in modo che vengano rimosse tutte le soluzioni che non assegnano tutte le prenotazioni coinvolte. Questo è fondamentale perché in questo scenario le prenotazioni di input corrispondono esattamente a quelle che sono state assegnate dall'ASL e quindi la soluzione individuata dalla codifica deve assegnarle tutte obbligatoriamente, altrimenti la soluzione non è accettabile.

Infine è necessario che, non solo tutte le prenotazioni siano assegnate ma devono anche essere posizionate nella stessa sala e nello stesso giorno della lista operatoria di riferimento. Di conseguenza vengono inseriti i vincoli rispettivamente indicati come  $r_{10}$  e  $r_{11}$ :

```
:- x(NOSOLOGICAL,_,OR1,_,_,_),
   givenSchedule(NOSOLOGICAL,_,OR2), OR1 != OR2.

:- x(NOSOLOGICAL,_,_,_,DAY1,_),
   givenSchedule(NOSOLOGICAL,DAY2,_), DAY1 != DAY2.
```

Nello specifico:

- Vincolo  $r_{10}$ : specifica che l'assegnazione per uno stesso paziente (NOSOLOGICAL) non può essere in una sala differente da quella realmente assegnata (OR1 != OR2).
- Vincolo  $r_{11}$ : indica che l'assegnazione per uno stesso paziente (NOSOLOGICAL) non può essere in un giorno diverso da quello realmente assegnato (DAY1 != DAY2).

## 5.2 Ottimizzazione

In questo paragrafo verrà presentata una soluzione che punta ad effettuare un'ottimizzazione della pianificazione originale eseguita dall'ASL. Come nella codifica appena presentata, anche in questo caso verranno utilizzati le stesse regole e vincoli per la gestione del tempo di utilizzo delle sale operatorie e per l'assegnazione dei posti letto. La novità riguarda il fatto che verranno aggiunti dei *weak constraints* per cercare di massimizzare l'assegnamento delle prenotazioni addizionali considerate.

### 5.2.1 Input

Gli atomi di input sono gli stessi visti nel caso precedente. L'unico cambiamento rilevante è dovuto dal fatto che vengono considerate tutte le prenotazioni originali insieme ad alcune prenotazioni aggiuntive. A tal proposito, l'attributo della priorità diventa essenziale identificando le varie prenotazioni con quattro livelli prioritari P1, P2, P3 e P4 già spiegati precedentemente.

### 5.2.2 Output

Gli elementi di output anche in questo caso sono costituiti dalle varie istanze dell'atomo  $x(NOSOLOGICAL, P, OR, SPECIALTY, DAY, TIMING)$  caratterizzato dai medesimi attributi visti per l'output precedente.

La fase di ottimizzazione è stata analizzata in due scenari distinti:

- *Scenario 1*: in questo caso si cerca di assegnare il maggior numero di prenotazioni possibili, assegnando obbligatoriamente quelle a priorità P1 però senza nessun vincolo su come inserirle, ovvero che non necessariamente saranno messe come nella lista operatoria fornita nei dati. Successivamente, verranno assegnate le prenotazioni aggiuntive secondo le loro priorità.
- *Scenario 2*: questo scenario si differenzia dal primo per il fatto che tutte le prenotazioni a priorità P1 devono essere assegnate nello stesso giorno e nella stessa sala della pianificazione effettuata dall'ASL. Dopodiché, si cercherà di assegnare più prenotazioni possibili tra quelle con minore priorità.

### 5.2.3 Scenario 1: codifica

In questo paragrafo viene presentata la codifica ASP per lo scenario 1:

Le regole viste in precedenza dalla  $r_1$  fino alla  $r_7$  vengono utilizzate nello stesso identico modo anche in questo scenario.

Per raggiungere l'obiettivo di questo scenario vengono aggiunte le seguenti nuove regole:

Per prima cosa si hanno rispettivamente le regole  $r'_1, r'_2, r'_3, r'_4$ :

```
unassignedRegsP1(N) :- N = totRegsP1 - M,
    M = #count{NOSOLOGICAL : x(NOSOLOGICAL,1,_,_,_,_)}
```

```
unassignedRegsP2(N) :- N = totRegsP2 - M,
    M = #count{NOSOLOGICAL : x(NOSOLOGICAL,2,_,_,_,_)}
```

```
unassignedRegsP3(N) :- N = totRegsP3 - M,
    M = #count{NOSOLOGICAL : x(NOSOLOGICAL,3,_,_,_,_)}
```

```
unassignedRegsP4(N) :- N = totRegsP4 - M,
    M = #count{NOSOLOGICAL : x(NOSOLOGICAL,4,_,_,_,_)}
```

Si hanno quattro diversi livelli di priorità, perciò affinché si possa calcolare il numero di prenotazioni a quella determinata priorità che non sono state assegnate, è necessaria una regola per ciascuna di esse. Prendendo come riferimento la regola  $r'_1$ , viene contato il numero di prenotazioni assegnate a priorità P1 (M) e poi viene calcolata la differenza con il numero totale di prenotazioni P1 a disposizione (totRegsP1). In questo modo, viene ricavato un nuovo atomo che riguarda il numero di prenotazioni P1 non assegnate. Come si

può notare, viene effettuato lo stesso procedimento per le altre priorità con le altre regole.

Come già detto, le prenotazioni a priorità P1 devono essere assegnate tutte obbligatoriamente, perciò viene utilizzato il vincolo  $r'_5$  seguente:

$:- \text{unassignedRegsP1}(N), N > 0.$

Sostanzialmente, indica che non deve essere verificato che il numero N di prenotazioni P1 non assegnate sia maggiore di zero. Infatti, verranno rimosse tutte le soluzioni che non rispettano questo requisito.

Dopo aver gestito le prenotazioni con il massimo livello prioritario, si passa alle priorità inferiori. In questo caso, bisogna riuscire ad assegnare il maggior numero possibile di prenotazioni aggiuntive rispettando i livelli di priorità. A questo proposito vengono usati i seguenti *weak constraint*, rispettivamente  $r'_6$ ,  $r'_7$  e  $r'_8$ :

$:\sim \text{unassignedRegsP2}(N). \text{ [N@3]}$

$:\sim \text{unassignedRegsP3}(N). \text{ [N@2]}$

$:\sim \text{unassignedRegsP4}(N). \text{ [N@1]}$

Con i *weak constraint* viene minimizzato il numero di prenotazioni P2, P3 e P4 non assegnate. Si può notare che ognuno di essi ha un peso [N@X] indicato da X, il quale decresce man mano che il livello di priorità diventa più basso. In questo modo prima verranno assegnate le prenotazioni P2, poi se possibile le P3 e infine le P4.

## 5.2.4 Scenario 2: codifica

La codifica per lo scenario 2 comprende le seguenti regole:

- Le regole dalla  $r_1$  fino alla  $r_7$ , assieme alla  $r_{10}$  e  $r_{11}$  proposte nello scenario della pianificazione dell'ASL;
- Le regole dalla  $r'_1$  alla  $r'_8$  viste nello scenario 1 dell'ottimizzazione.

Infatti, si tratta di una combinazione delle due casistiche mostrate precedentemente perché si punta ad inserire il maggior numero di prenotazioni aggiuntive rispettando come sempre le priorità assegnate però assegnando le P1 esattamente come assegnate nella pianificazione originale dell'ASL.

Per la sede di Bordighera è stata aggiunta un'ulteriore regola, riportata di seguito:

$:- N = \#count\{\text{NOSOLOGICAL} : x(\text{NOSOLOGICAL}, \_, \text{"Sala A"}, \_, \_, \_)\}, N! = 1.$

Poiché nella pianificazione originale dell'ASL la Sala A è stata utilizzata solamente un giorno e per un solo intervento, si è deciso di farne uso solo in quel caso. A tal proposito, è necessaria la suddetta regola, affinché nella Sala A venga assegnato solamente l'intervento a priorità P1 che era l'unico previsto nella pianificazione dell'ASL.

# Capitolo 6

## Analisi sperimentali

In questo capitolo viene riportata la descrizione dei risultati ottenuti riguardanti la pianificazione effettuata per ciascuna sede della struttura ospedaliera dell'ASL 1 Liguria. Per ogni sede saranno analizzati i risultati della pianificazione originale dell'ASL e successivamente verranno riportati i risultati dell'ottimizzazione opportunamente suddivisa nei due scenari esposti nel Capitolo 5.

Come già detto nei capitoli precedenti, per quanto riguarda l'ottimizzazione sono state aggiunte delle prenotazioni oltre a quelle presenti nella lista operatoria originale. È importante evidenziare che è stato deciso di considerare una quantità di prenotazioni aggiuntive corrispondente al 250% del numero di prenotazioni originariamente previste. In questo modo si ha a disposizione un ampio numero di nuove prenotazioni, ma è necessario sottolineare che questo deve essere adeguato alle dimensioni della sede stessa poiché ognuna gestisce delle quantità differenti di interventi, ed è per questo che è stato scelto di prendere una quantità aggiuntiva percentuale, rendendo il tutto il più reale possibile.

In particolare, gli elementi che fanno parte del 250% di prenotazioni aggiuntive sono stati ottenuti prendendo tutte le prenotazioni della settimana successiva a quella di riferimento, poi tutte quelle della settimana ancora dopo e infine è stato preso un insieme casuale di prenotazioni appartenenti alle settimane ancora successive.

È stato imposto un tempo limite di 10 secondi per il calcolo della pianificazione in modo da permettere un utilizzo pratico in real time.

I test sono stati eseguiti su un computer con processore Intel Core i7-10750H @ 2.60 GHz con 6 core e 16 GB RAM. Il sistema ASP usato è stato CLINGO (Gebser et al. 2016), versione 5.4.0.

## 6.1 Bordighera

La sede di Bordighera ha le seguenti caratteristiche:

Sale operatorie:

- Sala A
- Sala B

La disponibilità per ciascuna sala è di 330 minuti.

Reparti:

- Chirurgia generale (GSUR);
- Ostetricia e Ginecologia (OST);
- Chirurgia Vascolare (VSUR);
- Ortopedia e Traumatologia (ORT).

Il Master Surgical Schedule è rappresentato tramite la seguente tabella:

Sale Op.	Giorno 1 ID specialità	Giorno 2 ID specialità	Giorno 3 ID specialità	Giorno 4 ID specialità	Giorno 5 ID specialità
Sala A	-	-	-	GSUR	-
Sala B	GSUR	GSUR	GSUR	GSUR	GSUR
	OST	OST	OST	OST	OST
	VSUR	VSUR	VSUR	VSUR	VSUR
	ORT	ORT	ORT	ORT	ORT

Tabella 6.1: MSS Bordighera

Nella suddetta tabella e in quelle successive, le celle dove è presente il simbolo "-" indicano che la sala non è disponibile per il giorno indicato.

### 6.1.1 Analisi pianificazione dell'ASL

Il numero di prenotazioni assegnate nella pianificazione originale per la sede di Bordighera è di 28. I risultati dell'occupazione delle sale sono riportati nella tabella 6.2 dalla quale si può notare che per ogni sala è stata calcolata la percentuale di utilizzo giornaliera e il suo utilizzo medio durante la settimana. La media è calcolata sommando le percentuali di

Sale/Giorni	Giorno 1	Giorno 2	Giorno 3	Giorno 4	Giorno 5	Media
Sala A	-	-	-	8.2 %	-	8.2 %
Sala B	59.1 %	69.7 %	70.0 %	74.2 %	80.0 %	70.6 %

Tabella 6.2: Pianificazione ASL Bordighera: occupazione sale operatorie

utilizzo della sala e dividendo per il numero di giorni in cui è stata effettivamente utilizzata. In particolare, la Sala A viene utilizzata solamente il giorno 4 come specificato dal MSS nella tabella 6.1, per un solo intervento. Invece, la Sala B viene utilizzata durante tutti i giorni previsti con una media di utilizzo del 70.6%.

### 6.1.2 Analisi dell'ottimizzazione: scenario 1

La Sala A risulta utilizzata per un singolo intervento nel giorno 4, non è noto il motivo per il quale non sia stata usata negli altri giorni, perciò in questo scenario si è deciso di non farne uso. La Sala B, invece, è disponibile tutti i giorni per ogni specialità come stabilito dal MSS nella tabella 6.1.

I risultati inerenti allo scenario 1 sono riportati nella seguente tabella:

Prenotazioni					Sala A	Sala B
P1	P2	P3	P4	Totale		
28/28	13/29	1/28	0/13	42/98	-	99.5 %
28/28	12/29	2/28	0/13	42/98	-	99.3 %
28/28	13/29	0/28	0/13	41/98	-	99.0 %
28/28	13/29	1/28	0/13	42/98	-	98.7 %
28/28	13/29	1/28	0/13	42/98	-	99.3 %
28/28	14/29	0/28	0/13	42/98	-	98.7 %
28/28	13/29	1/28	0/13	42/98	-	99.7 %
28/28	13/29	1/28	0/13	42/98	-	99.3 %
28/28	13/29	0/28	0/13	41/98	-	98.7 %
28/28	13/29	1/28	0/13	42/98	-	99.0 %

Tabella 6.3: Bordighera scenario 1: occupazione media sale operatorie

Osservando la tabella 6.3, si può notare che sono state effettuate 10 esecuzioni, ognuna di esse con un insieme di 98 prenotazioni totali di cui 28 a priorità P1 e le rimanenti 70 a priorità inferiori ricavate come specificato in precedenza. Per ogni esecuzione, è stato riportato il numero di prenotazioni assegnate per ogni priorità e il rispettivo totale. Inoltre, è presente anche l'utilizzo medio delle sale operatorie lungo i 5 giorni lavorativi.

Prenotazioni					Sala A	Sala B
P1	P2	P3	P4	Totale		
28/28	13/29	1/28	0/13	42/98	-	99.1 %

Tabella 6.4: Bordighera scenario 1: valori medi totali sale operatorie

Nella tabella 6.4, vengono riportati i valori medi delle istanze presenti nella tabella 6.3. Nel complesso, vengono mostrati i valori medi delle prenotazioni assegnate per ogni priorità nelle dieci esecuzioni. Si può notare che, come già specificato, le prenotazioni a priorità P1 vengono assegnate totalmente. Successivamente, sulla base del livello prioritario e delle risorse a disposizione, sono state assegnate le prenotazioni a priorità inferiori, di cui in media 13 P2, 1 P3 e 0 P4. Inoltre, è riportata anche la media di utilizzo delle sale operatorie. La Sala A, come stabilito non viene utilizzata mentre la Sala B ha una media di utilizzo del 99.1%, ossia la quasi totalità del tempo a disposizione.

### 6.1.3 Analisi dell'ottimizzazione: scenario 2

I risultati inerenti allo scenario 2 sono riportati nella seguente tabella:

Prenotazioni					Sala A	Sala B
P1	P2	P3	P4	Totale		
28/28	15/29	1/28	0/13	44/98	8.2 %	99.7 %
28/28	15/29	0/28	0/13	43/98	8.2 %	98.9 %
28/28	15/29	0/28	0/13	43/98	8.2 %	99.3 %
28/28	14/29	1/28	1/13	44/98	8.2 %	99.7 %
28/28	15/29	0/28	0/13	43/98	8.2 %	99.8 %
28/28	15/29	0/28	0/13	43/98	8.2 %	99.3 %
28/28	14/29	2/28	0/13	44/98	8.2 %	99.0 %
28/28	15/29	0/28	0/13	43/98	8.2 %	99.8 %
28/28	15/29	0/28	0/13	43/98	8.2 %	99.5 %
28/28	14/29	1/28	0/13	43/98	8.2 %	99.4 %

Tabella 6.5: Bordighera scenario 2: occupazione media sale operatorie

Come si può riscontrare dalla tabella 6.5, anche in questo caso sono state effettuate 10 esecuzioni, dove gli insiemi delle prenotazioni sono gli stessi visti per lo scenario uno. Dal momento che lo scenario 2 effettua un'ottimizzazione assegnando le prenotazioni P1 in egual modo alla pianificazione dell'ASL, la Sala A è nuovamente messa a disposizione. Anche in questo caso, per ogni esecuzione è stato riportato il numero di prenotazioni assegnate per ogni priorità, il rispettivo totale e l'utilizzo medio delle sale operatorie nei 5

Prenotazioni					Sala A	Sala B
P1	P2	P3	P4	Totale		
28/28	15/29	1/28	0/13	44/98	8.2%	99.4 %

Tabella 6.6: Bordighera scenario 2: valori medi totali sale operatorie

giorni lavorativi.

Nella tabella 6.6, che riporta i valori medi delle istanze presenti nella tabella 6.5, vengono mostrati i valori medi delle prenotazioni assegnate per ogni priorità nelle dieci esecuzioni. Le prenotazioni a priorità P1 vengono assegnate totalmente e successivamente, sulla base del livello prioritario e delle risorse a disposizione, sono state assegnate le prenotazioni a priorità inferiori, di cui in media 15 P2, 1 P3 e 0 P4. Inoltre, è riportata anche la media di utilizzo della Sala A e della Sala B, rispettivamente del 8.2% e del 99.4%.

Per evidenziare le differenze, è stato effettuato un confronto sulle prenotazioni assegnate nei due scenari di ottimizzazione.

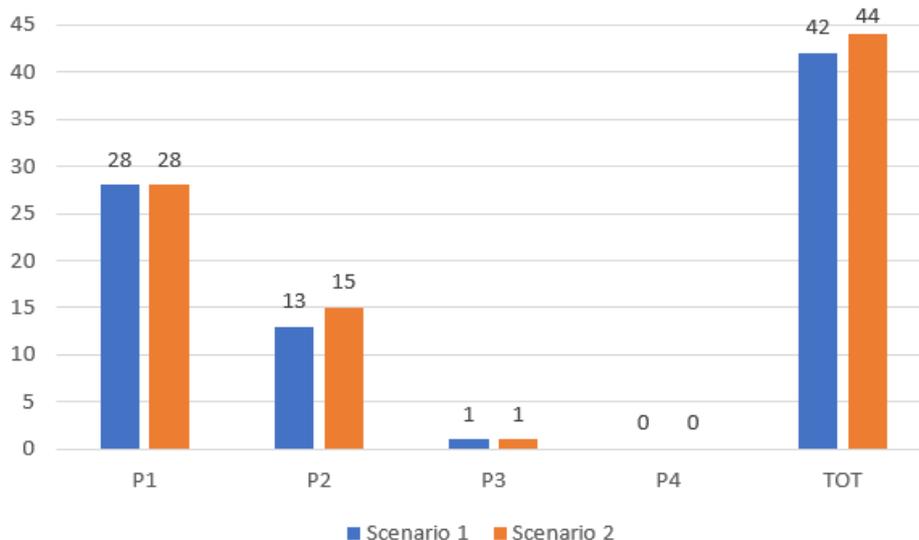


Figura 6.1: Bordighera: confronto prenotazioni scenari di ottimizzazione

Dalla figura 6.1 si può notare che ovviamente le prenotazioni P1 assegnate sono in quantità equivalente, mentre quelle a priorità P2 sono rispettivamente 13 e 15, le P3 assegnate in entrambe i casi è 1 e le P4 sono nulle. Si ha un totale di 42 prenotazioni assegnate per lo scenario 1 mentre per lo scenario 2 sono 44. Questa differenza è dovuta dal fatto che nel secondo scenario viene utilizzata la Sala A per un intervento di priorità P1 come stabilito dalla pianificazione dell'ASL e di conseguenza nella Sala B è stato possibile assegnare in media 2 prenotazioni in più a priorità P2.

## 6.2 Sanremo

La sede di Sanremo ha le seguenti caratteristiche:

Sale operatorie:

- Sala 1
- Sala 2
- Sala 3
- Sala 4
- Sala C (II Piano)

La disponibilità per ciascuna sala è di 750 minuti.

Reparti:

- Ostetricia e Ginecologia (OST);
- Ortopedia e Traumatologia (ORT);
- Otorinolaringoiatria (ORL);
- Chirurgia Generale (GSUR).

Il Master Surgical Schedule è rappresentato tramite la seguente tabella:

Sale Op.	Giorno 1 ID specialità	Giorno 2 ID specialità	Giorno 3 ID specialità	Giorno 4 ID specialità	Giorno 5 ID specialità
Sala 1	ORT	ORT	ORT	ORT	ORT
Sala 2	-	ORL	ORL	-	-
Sala 3	GSUR	GSUR	-	-	GSUR
Sala 4	-	OST	-	OST	-
Sala C II Piano	OST	-	-	-	OST

Tabella 6.7: MSS Sanremo

Le celle dove è presente il simbolo "-" indicano che la sala non è disponibile per il giorno indicato.

Disponibilità giornaliera dei letti per ogni reparto:

Reparti/Giorni	Giorno 1	Giorno 2	Giorno 3	Giorno 4	Giorno 5
Ostetricia e Ginecologia	15	15	16	18	18
Ortopedia e Traumatologia	7	9	8	12	13
Otorinolaringoiatria	5	5	5	5	5
Chirurgia Generale	6	7	9	10	11

Tabella 6.8: Sanremo: disponibilità giornaliera dei letti per ogni reparto

### 6.2.1 Analisi pianificazione dell'ASL

Il numero di prenotazioni assegnate nella pianificazione originale per la sede di Sanremo è di 43. I risultati dell'occupazione delle sale sono riportati nella tabella seguente:

Sale/Giorni	Giorno 1	Giorno 2	Giorno 3	Giorno 4	Giorno 5	Media
Sala 1	59.1 %	51.9 %	25.7 %	41.9 %	74.0 %	50.5 %
Sala 2	-	21.6 %	63.2 %	-	-	42.4 %
Sala 3	24.7 %	34.0 %	-	-	24.8 %	27.8 %
Sala 4	-	35.3 %	-	86.3 %	-	60.8 %
Sala C (II Piano)	12.9 %	-	-	-	14.4 %	13.7 %

Tabella 6.9: Pianificazione ASL Sanremo: occupazione sale operatorie

Come si può vedere dalla tabella 6.9, per ogni sala è stata calcolata la percentuale di utilizzo giornaliera e il suo utilizzo medio durante la settimana. Si può notare che ci sono dei giorni in cui le sale non vengono utilizzate come specificato dal MSS, perciò la media è calcolata sommando le percentuali di utilizzo della sala e dividendo per il numero di giorni in cui è stata effettivamente utilizzata.

I risultati dell'occupazione dei letti sono riportati nella tabella seguente:

Reparti/Giorni	Giorno 1	Giorno 2	Giorno 3	Giorno 4	Giorno 5	Media
Ostetricia e Ginecologia	60.0 %	60.0 %	56.3 %	50.0 %	50.0 %	55.3 %
Ortopedia e Traumatologia	85.7 %	88.9 %	88.9 %	83.3 %	84.6 %	86.3 %
Otorinolaringoiatria	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Chirurgia Generale	83.3 %	71.4 %	55.6 %	50.0 %	45.5 %	61.2 %

Tabella 6.10: Pianificazione ASL Sanremo: occupazione posti letto

Nella tabella 6.10 viene riportata la percentuale di occupazione dei letti giornaliera per

ogni reparto e la rispettiva occupazione media. Osservando la percentuale media di letti per ogni reparto e i valori medi di utilizzo di ciascuna sala operatoria riportati nella tabella 6.9, si evince che si potrebbero sfruttare maggiormente queste risorse. A tal proposito, di seguito sono riportate le analisi dei risultati degli scenari studiati inerenti all'ottimizzazione.

## 6.2.2 Analisi dell'ottimizzazione: scenario 1

Nello scenario 1 della sede di Sanremo è stata fatta un'analisi più approfondita riguardo alla quantità di prenotazioni prese in considerazione. Oltre all'insieme composto dal 250% di prenotazioni aggiuntive, è stato analizzato anche un bacino più ristretto del 150% ricavato allo stesso modo del suo rispettivo più grande. Di seguito si farà riferimento ad entrambi come "*Scenario1 150*" e "*Scenario1 250*".

Per lo "*Scenario1 150*" sono state effettuati dieci esecuzioni. I risultati inerenti all'occupazione delle sale sono riportati nelle tabelle 6.11 e 6.12.

Prenotazioni					Sala 1	Sala 2	Sala 3	Sala 4	Sala C II Piano
P1	P2	P3	P4	Totale					
43/43	12/28	7/26	1/11	63/108	54.4 %	57.5 %	50.1 %	59.4 %	91.9 %
43/43	12/28	7/26	2/11	64/108	59.5 %	57.5 %	50.1 %	95.9 %	57.7 %
43/43	12/28	7/26	0/11	62/108	57.3 %	57.5 %	50.1 %	68.1 %	94.1 %
43/43	12/28	7/26	1/11	63/108	56.9 %	57.5 %	50.1 %	63.9 %	88.3 %
43/43	12/28	7/26	1/11	63/108	55.2 %	57.5 %	50.1 %	55.2 %	93.3 %
43/43	12/28	7/26	1/11	63/108	54.0 %	57.5 %	50.1 %	57.3 %	97.3 %
43/43	12/28	7/26	1/11	63/108	52.3 %	65.4 %	50.1 %	71.6 %	83.4 %
43/43	12/28	7/26	2/11	64/108	53.5 %	57.5 %	50.1 %	61.7 %	92.7 %
43/43	12/28	7/26	0/11	62/108	54.4 %	57.5 %	50.1 %	64.9 %	77.8 %
43/43	12/28	7/26	0/11	62/108	53.2 %	57.5 %	50.1 %	58.7 %	89.5 %

Tabella 6.11: Sanremo "*Scenario1 150*": occupazione media sale operatorie

Prenotazioni					Sala 1	Sala 2	Sala 3	Sala 4	Sala C II Piano
P1	P2	P3	P4	Totale					
43/43	12/28	7/26	1/11	63/108	55.1 %	58.3 %	50.1 %	77.7 %	86.6 %

Tabella 6.12: Sanremo "*Scenario1 150*": valori medi totali sale operatorie

Facendo riferimento alla tabella 6.11, si nota che ogni esecuzione ha un insieme di 108 prenotazioni totali di cui 43 a priorità P1 e le rimanenti 65 sono complessivamente quelle a priorità P2, P3 e P4. Per ogni esecuzione, è stato riportato il numero di prenotazioni assegnate per ogni priorità, il rispettivo totale e l'utilizzo medio delle sale operatorie nei

5 giorni lavorativi.

La tabella 6.12 contiene la media calcolata sulle dieci esecuzioni in 6.11 delle prenotazioni e dell'occupazione di ogni sala.

Le prenotazioni a priorità P1 vengono assegnate tutte e 43, quelle a priorità inferiore vengono schedate sulla base del livello prioritario e delle risorse a disposizione, mediamente vengono assegnate 12 P2, 7 P3 e 1 P4, per una media complessiva di 63 assegnamenti totali. Per quanto riguarda le sale, sono tutte occupate almeno al 50% della loro capienza, con particolare riguardo verso la Sala 4 e la Sala C che sono occupate con una media di oltre il 77%.

L'occupazione delle sale è limitata dal fatto che la maggior parte dei pazienti ha bisogno anche di un letto. A tal proposito, sono riportati nelle tabelle 6.13 e 6.14 i risultati relativi all'occupazione dei posti letto nei reparti.

Prenotazioni					Ostetricia/Ginec.	Ortopedia/Traum.	O.R.L.	Chirurgia Gen.
P1	P2	P3	P4	Totale				
30	12	5	0	47	97.4 %	95.6 %	100 %	90.5 %
30	12	5	0	47	98.7 %	89.8 %	100 %	90.5 %
30	12	5	0	47	100 %	97.1 %	100 %	90.5 %
30	12	5	0	47	98.7 %	97.1 %	100 %	73.7 %
30	12	5	0	47	96.0 %	100 %	100 %	82.1 %
30	12	5	0	47	100 %	95.6 %	100 %	65.2 %
30	12	5	0	47	100 %	89.2 %	100 %	82.1 %
30	12	5	0	47	98.8 %	93.3 %	100 %	73.7 %
30	12	5	0	47	98.7 %	97.1 %	100 %	90.5 %
30	12	5	0	47	96.1 %	100 %	100 %	90.5 %

Tabella 6.13: Sanremo "Scenario1 150": occupazione media posti letto

Prenotazioni					Ostetricia/Ginec.	Ortopedia/Traum.	O.R.L.	Chirurgia Gen.
P1	P2	P3	P4	Totale				
30	12	5	0	47	98.4 %	95.5 %	100 %	82.9 %

Tabella 6.14: Sanremo "Scenario1 150": valori medi totali posti letto

Osservando la tabella 6.13 si può subito notare che le prenotazioni di pazienti che occupano un posto letto sono equivalenti in tutte le esecuzioni effettuate. Si hanno infatti 30 P1, 12 P2, 5 P3 e 0 P4, per un totale di 47 posti letto occupati. Dalla tabella 6.14 si può constatare che tutti i reparti utilizzano la quasi totalità dei posti letto disponibili, con percentuali medie superiori al 95% per i reparti di ostetricia, ortopedia, mentre quello di chirurgia generale si ferma al 82.9%. Infine, il reparto di O.R.L aveva già una percentuale di occupazione massima nella pianificazione originale.

Per lo "Scenario1 250" la struttura tabellare è la stessa vista in quello precedente.

Nelle tabelle 6.15 e 6.16 sono riportate le prenotazioni assegnate e le percentuali di occupazione delle sale:

P1	Prenotazioni				Totale	Sala 1	Sala 2	Sala 3	Sala 4	Sala C II Piano
	P2	P3	P4							
43/43	12/28	7/26	5/54	67/151	54.0 %	59.1 %	50.1 %	88.1 %	86.4 %	
43/43	12/28	7/26	5/54	67/151	54.9 %	61.8 %	50.1 %	69.1 %	92.2 %	
43/43	12/28	7/26	7/54	69/151	55.9 %	59.9 %	75.1 %	86.9 %	72.5 %	
43/43	12/28	7/26	9/54	71/151	56.0 %	71.8 %	52.7 %	76.5 %	97.5 %	
43/43	12/28	7/26	4/54	66/151	67.4 %	57.5 %	50.1 %	67.9 %	93.1 %	
43/43	12/28	7/26	3/54	65/151	68.1 %	65.9 %	52.1 %	55.4 %	90.8 %	
43/43	12/28	7/26	5/54	67/151	67.3 %	59.5 %	86.0 %	73.4 %	85.6 %	
43/43	12/28	7/26	6/54	68/151	54.2 %	73.5 %	50.1 %	62.5 %	86.8 %	
43/43	12/28	7/26	1/54	63/151	70.3 %	57.5 %	50.1 %	69.1 %	93.5 %	
43/43	12/28	7/26	5/54	67/151	52.3 %	65.4 %	54.7 %	94.5 %	74.7 %	

Tabella 6.15: Sanremo "Scenario1 250": occupazione media sale operatorie

P1	Prenotazioni				Totale	Sala 1	Sala 2	Sala 3	Sala 4	Sala C II Piano
	P2	P3	P4							
43/43	12/28	7/26	5/54	67/151	60.0 %	63.2 %	57.1 %	74.3 %	87.3 %	

Tabella 6.16: Sanremo "Scenario1 250": valori medi totali sale operatorie

Dalla tabella 6.15, si nota che ogni esecuzione ha un insieme di 151 prenotazioni totali di cui 43 a priorità P1 e le rimanenti 108 sono quelle priorità inferiori.

Attraverso la tabella 6.16 si evince che le prenotazioni a priorità P1 vengono completamente assegnate mentre per le restanti 108 mediamente vengono assegnate 12 P2, 7 P3 e 5 P4, per un valore complessivo di 67 prenotazioni. Le sale, sono tutte occupate almeno al 60% della loro capienza, eccetto la sala 3 che in media è occupata al 57.1%.

Riguardo all'occupazione dei posti letto si deve fare riferimento alle tabelle 6.17 e 6.18.

Nella tabella 6.17 si può subito notare che, anche in questo scenario, i pazienti che occupano un posto letto sono equivalenti in tutte le esecuzioni effettuate, con 30 P1, 12 P2, 5 P3 e 0 P4, per un valore complessivo di 47 posti letto occupati.

Dalla tabella 6.18 si può verificare che i reparti di ostetricia e ortopedia utilizzano la quasi totalità dei letti a disposizione, con percentuali medie superiori al 96.0%. Il reparto di chirurgia generale è invece limitato ad una media che si aggira intorno al 79.6%. Ovviamente, anche in questo caso il reparto di O.R.L. ha un uso dei letti al 100%.

P1	Prenotazioni				Totale	Ostetricia/Ginec.	Ortopedia/Traum.	O.R.L.	Chirurgia Gen.
	P2	P3	P4						
30	12	5	0	47	97.3 %	94.9 %	100 %	73.7 %	
30	12	5	0	47	96.0 %	97.1 %	100 %	90.5 %	
30	12	5	0	47	98.7 %	94.9 %	100 %	82.1 %	
30	12	5	0	47	97.3 %	97.8 %	100 %	82.1 %	
30	12	5	0	47	100 %	97.8 %	100 %	65.2 %	
30	12	5	0	47	97.3 %	97.8 %	100 %	82.1 %	
30	12	5	0	47	96.0 %	94.9 %	100 %	65.2 %	
30	12	5	0	47	96.0 %	97.8 %	100 %	73.7 %	
30	12	5	0	47	97.3 %	97.8 %	100 %	90.5 %	
30	12	5	0	47	96.0 %	97.8 %	100 %	90.5 %	

Tabella 6.17: Sanremo "*Scenario1 250*": occupazione media posti letto

P1	Prenotazioni				Totale	Ostetricia/Ginec.	Ortopedia/Traum.	O.R.L.	Chirurgia Gen.
	P2	P3	P4						
30	12	5	0	47	97.2 %	96.9 %	100 %	79.6 %	

Tabella 6.18: Sanremo "*Scenario1 250*": valori medi totali posti letto

Per evidenziare meglio le differenze tra le due casistiche appena esposte è stato fatto un confronto a livello grafico.

Dalla figura 6.2 si può notare che in entrambe i casi le prenotazioni P1 sono assegnate naturalmente in quantità analoga, così come le prenotazioni P2 e P3. La differenza riguarda le priorità P4 dove ne vengono assegnate rispettivamente 1 e 5. Dunque, le assegnazioni totali sono 63 per lo "*Scenario1 150*" e 67 per lo "*Scenario1 250*", riuscendo ad assegnare ben 4 prenotazioni in più nonostante siano riferite alla priorità più bassa possibile.

Per quanto riguarda i letti occupati dai pazienti, si deve fare riferimento alla figura 6.3. Si può osservare che i posti letto occupati sono uguali in entrambe le casistiche, in particolare 30 P1, 12 P2, 5 P3 e 0 P4, per un totale di 47 posti letto occupati.

Tale analisi permette di capire che considerare un insieme più ampio di prenotazioni consente di assegnarne maggiormente anche se il numero di posti letto occupati è equivalente perché si individuano più prenotazioni *Day Surgery* per le quali non è necessario un posto letto.

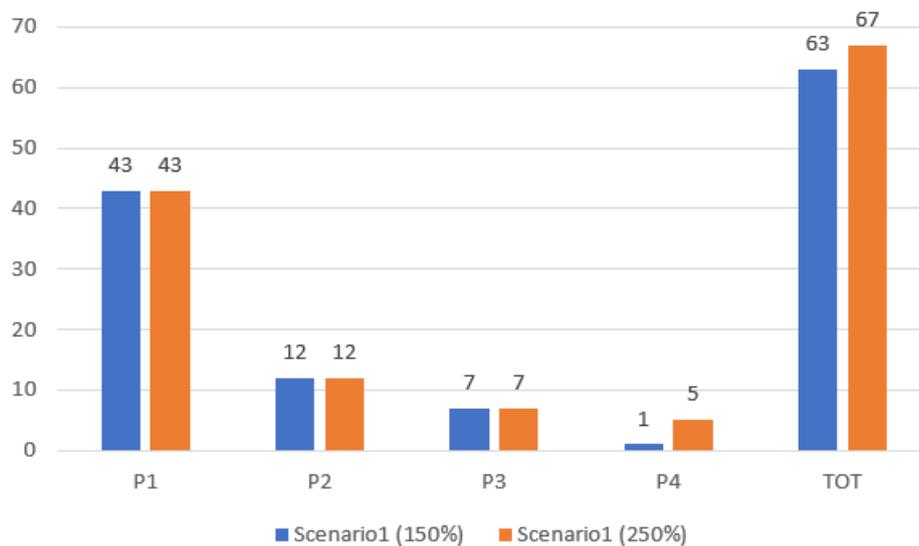


Figura 6.2: Sanremo: confronto prenotazioni scenario1 150% e 250%

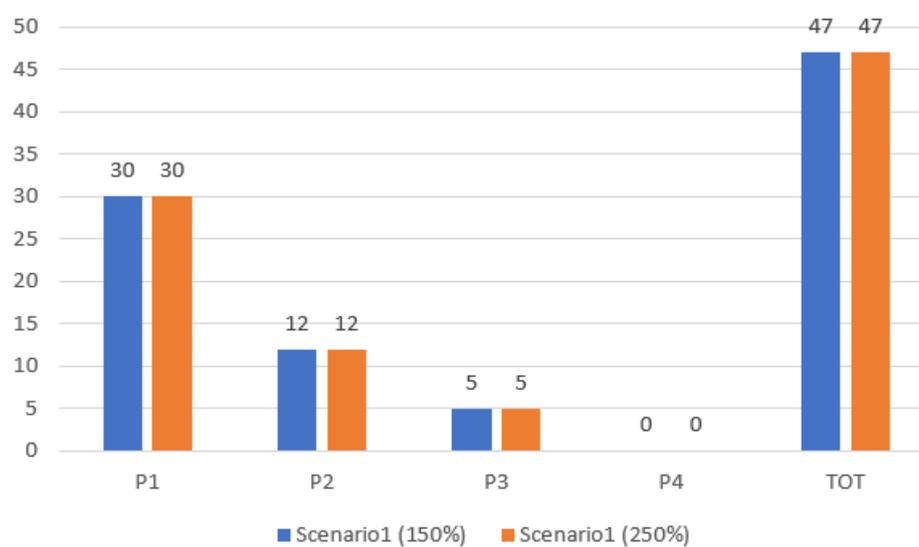


Figura 6.3: Sanremo: confronto letti scenario1 150% e 250%

### 6.2.3 Analisi dell'ottimizzazione: scenario 2

Visti i risultati dello scenario 1, per lo scenario 2 di ottimizzazione sono stati eseguiti dei test solamente sull'insieme di 250%. Nelle tabelle 6.19 e 6.20 sono riportate le prenotazioni assegnate e le percentuali di occupazione delle sale.

P1	Prenotazioni				Totale	Sala 1	Sala 2	Sala 3	Sala 4	Sala C II Piano
	P2	P3	P4							
43/43	10/28	4/26	5/54	62/151	52.3 %	69.9 %	47.6 %	71.5 %	58.1 %	
43/43	10/28	4/26	5/54	62/151	54.4 %	72.6 %	46.1 %	65.3 %	58.9 %	
43/43	10/28	4/26	7/54	64/151	54.4 %	70.7 %	46.1 %	74.5 %	60.3 %	
43/43	10/28	4/26	9/54	66/151	55.3 %	82.6 %	49.9 %	69.5 %	59.5 %	
43/43	10/28	4/26	4/54	61/151	54.4 %	68.3 %	47.6 %	76.2 %	50.3 %	
43/43	10/28	4/26	3/54	60/151	52.4 %	76.7 %	49.2 %	60.8 %	56.8 %	
43/43	10/28	4/26	5/54	62/151	51.5 %	70.3 %	53.3 %	64.8 %	54.5 %	
43/43	10/28	4/26	6/54	63/151	52.1 %	84.3 %	47.6 %	82.0 %	35.8 %	
43/43	10/28	4/26	1/54	58/151	52.1 %	68.3 %	47.2 %	81.9 %	34.9 %	
43/43	10/28	4/26	5/54	62/151	52.0 %	76.2 %	50.7 %	68.6 %	52.1 %	

Tabella 6.19: Sanremo "*Scenario2 250*": occupazione media sale operatorie

P1	Prenotazioni				Totale	Sala 1	Sala 2	Sala 3	Sala 4	Sala C II Piano
	P2	P3	P4							
43/43	10/28	4/26	5/54	62/151	53.1 %	74.0 %	48.5 %	71.5 %	52.1 %	

Tabella 6.20: Sanremo "*Scenario1 250*": valori medi totali sale operatorie

Le istanze utilizzate per le dieci esecuzioni riportate in 6.19 sono le stesse viste poc' anzi nello "*Scenario1 250*", quindi anche in questo caso si hanno in totale 151 prenotazioni, suddivise in 43 P1 e 108 a priorità inferiori. Come sempre, le prenotazioni P1 vengono assegnate completamente, mentre delle 108 rimanenti ne sono state assegnate in media 10 P2, 4 P3 e 5 P4.

Per quanto riguarda l'uso delle sale, la Sala 1 e la Sala C hanno una media poco più alta del 50%. Invece, la Sala 2 e la Sala 4 hanno un utilizzo medio più intenso, poco superiore al 70% mentre la Sala 3 ha una media più bassa (48.5%).

Riguardo l'occupazione dei letti, si può vedere dalla tabella 6.22 che la media del totale di letti utilizzati è 42. I reparti di ostetricia e ortopedia hanno un buon utilizzo dei letti, superiore al 92% e subito dopo si ha chirurgia con un utilizzo medio del 82.8%. Come in precedenza, il reparto di O.R.L. ha un uso dei letti al 100%.

P1	Prenotazioni				Totale	Ostetricia/Ginec.	Ortopedia/Traum.	O.R.L.	Chirurgia Gen.
	P2	P3	P4						
30	10	2	0	42	92.1 %	93.9 %	100 %	80.2 %	
30	10	2	0	42	92.1 %	93.9 %	100 %	80.2 %	
30	10	2	0	42	92.1 %	93.9 %	100 %	80.2 %	
30	10	2	0	42	92.1 %	93.9 %	100 %	80.2 %	
30	10	2	0	42	92.1 %	93.9 %	100 %	88.7 %	
30	10	2	0	42	92.1 %	93.9 %	100 %	88.7 %	
30	10	2	0	42	92.1 %	93.9 %	100 %	80.2 %	
30	10	2	0	42	92.1 %	93.9 %	100 %	80.2 %	
30	10	2	0	42	92.1 %	96.8 %	100 %	88.7 %	
30	10	2	0	42	92.1 %	96.8 %	100 %	80.2 %	

Tabella 6.21: Sanremo "*Scenario2 250*": occupazione media posti letto

P1	Prenotazioni				Totale	Ostetricia/Ginec.	Ortopedia/Traum.	O.R.L.	Chirurgia Gen.
	P2	P3	P4						
30	10	2	0	42	92.1 %	94.5 %	100 %	82.8 %	

Tabella 6.22: Sanremo "*Scenario2 250*": valori medi totali posti letto

È stato fatto anche un confronto grafico tra lo "*Scenario1 250*" e quest'ultimo scenario denominato "*Scenario2 250*" riguardo le prenotazioni assegnate e i letti occupati.

Dalla figura 6.4 si può notare che le assegnazioni totali sono 67 per lo "*Scenario1 250*" e 62 per lo "*Scenario2 250*", quindi nel primo caso si riesce ad assegnare ben 5 prenotazioni in più. In particolare, questa differenza è dovuta alle prenotazioni P2 e P3 infatti nello "*Scenario1 250*" vengono assegnate 12 P2 e 7 P3 mentre nello "*Scenario2 250*" 10 P2 e 4 P3.

Si ha la medesima situazione anche per i posti letto, infatti dalla tabella 6.5 si può constatare che in totale sono occupati 47 letti per lo "*Scenario1 250*" e 42 per lo "*Scenario2 250*". La differenza di 5 posti letto è dovuta al fatto che nel primo scenario ci sono più pazienti P2 e P3.

Complessivamente, si evince che lo "*Scenario1 250*" presenta delle prestazioni migliori. Tale risultato nasce dal fatto che nello "*Scenario2 250*" le prenotazioni P1 vengono assegnate come previsto dalla pianificazione originale dell'ASL che evidentemente poteva essere migliorata. Infatti, anche se nello "*Scenario1 250*" si utilizzano le medesime istanze, si riescono ad assegnare più prenotazioni sfruttando meglio le risorse a disposizione.

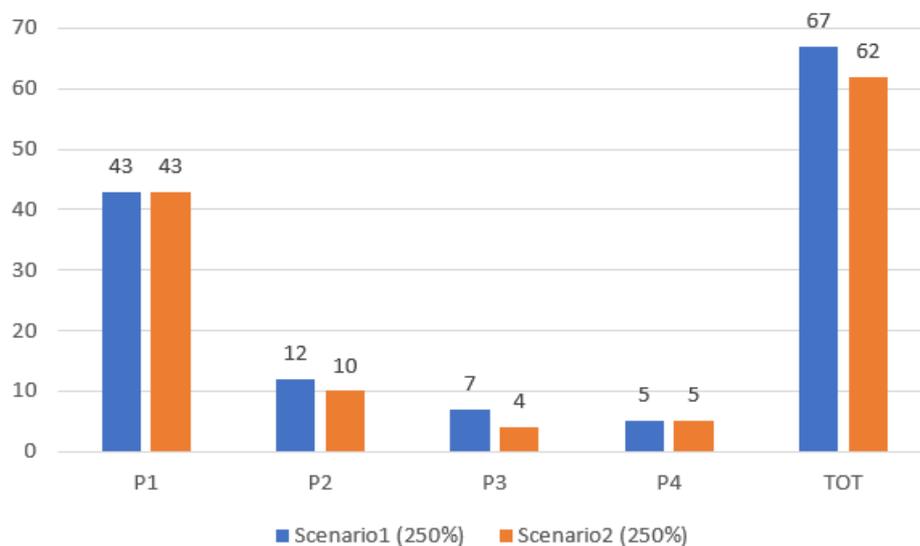


Figura 6.4: Sanremo: confronto prenotazioni scenari 250%

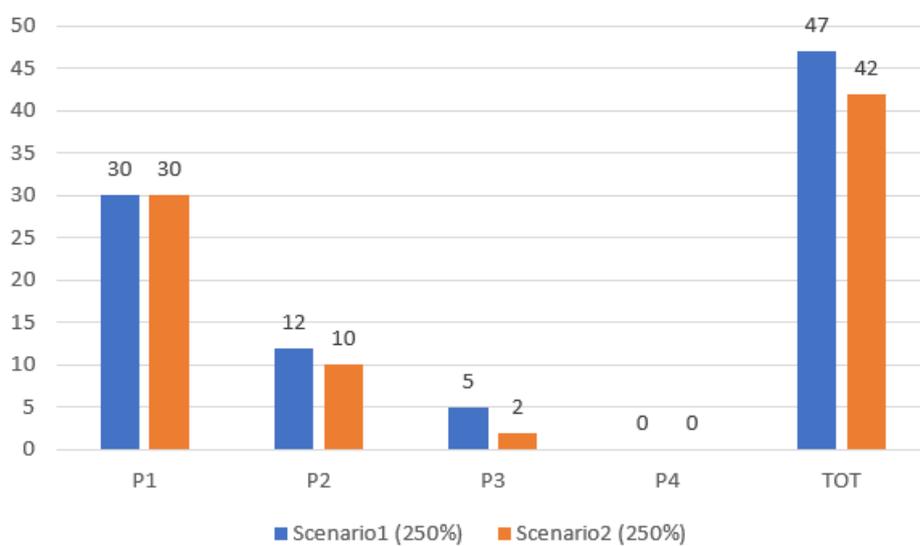


Figura 6.5: Sanremo: confronto letti scenari 250%

## 6.3 Imperia

La sede di Imperia ha le seguenti caratteristiche:

Sale operatorie:

- Sala A
- Sala B
- Sala C
- Sala E
- Sala Oculistica

La disponibilità per ciascuna sala è di 750 minuti.

Reparti:

- Ostetricia e Ginecologia (OST);
- Chirurgia Vascolare (VSUR);
- Chirurgia Generale (GSUR);
- Urologia (URL);
- Oculistica (OCL).

Il Master Surgical Schedule è rappresentato tramite la seguente tabella:

Sale Op.	Giorno 1 ID specialità	Giorno 2 ID specialità	Giorno 3 ID specialità	Giorno 4 ID specialità	Giorno 5 ID specialità
Sala A	OST	OST	OST	OST	OST
Sala B	VSUR	VSUR	VSUR	VSUR	VSUR
Sala C	GSUR	GSUR	GSUR	GSUR	GSUR
	URL	URL	URL	URL	URL
Sala E	OCL	OCL	OCL	OCL	OCL
Sala Oculistica	OCL	OCL	-	-	-

Tabella 6.23: MSS Imperia

Le celle dove è presente il simbolo "-" indicano che la sala non è disponibile per il giorno indicato.

Disponibilità giornaliera dei letti per ogni reparto:

Reparti/Giorni	Giorno 1	Giorno 2	Giorno 3	Giorno 4	Giorno 5
Ostetricia e Ginecologia	12	15	15	15	15
Chirurgia Vascolare	7	8	8	8	8
Chirurgia Generale	5	6	8	9	10
Urologia	8	9	12	12	13

Tabella 6.24: Imperia: disponibilità giornaliera dei letti per ogni reparto

### 6.3.1 Analisi pianificazione dell'ASL

Il numero di prenotazioni assegnate nella pianificazione originale per la sede di Imperia è di 143. I risultati dell'occupazione delle sale e dei letti sono riportati nelle tabelle 6.25 e 6.26.

Sale/Giorni	Giorno 1	Giorno 2	Giorno 3	Giorno 4	Giorno 5	Media
Sala A	57.9 %	85.9 %	50.4 %	86.3 %	39.6 %	64.0 %
Sala B	44.5 %	48.0 %	45.0 %	41.6 %	60.1 %	47.8 %
Sala C	24.9 %	24.7 %	32.3 %	38.0 %	32.0 %	30.4 %
Sala E	25.3 %	34.0 %	36.3 %	25.2 %	28.4 %	29.8 %
Sala Oculistica	38.5 %	38.4 %	-	-	-	38.5 %

Tabella 6.25: Pianificazione ASL Imperia: occupazione sale operatorie

Nella tabella 6.25 sono state riportate le percentuali di utilizzo giornaliero e di utilizzo medio settimanale di ogni sala. La media è calcolata sommando le percentuali di utilizzo della sala e dividendo per il numero di giorni in cui è stata effettivamente utilizzata come specificato nel MSS.

Reparti/Giorni	Giorno 1	Giorno 2	Giorno 3	Giorno 4	Giorno 5	Media
Ostetricia e Ginecologia	50.0 %	40.0 %	40.0 %	40.0 %	37.5 %	41.5 %
Chirurgia Vascolare	28.6 %	25.0 %	25.0 %	25.0 %	25.0 %	25.7 %
Chirurgia Generale	20.0 %	16.7 %	25.0 %	44.4 %	40 %	29.2 %
Urologia	75.0 %	66.7 %	50.0 %	50.0 %	46.2 %	57.6 %

Tabella 6.26: Pianificazione ASL Imperia: occupazione posti letto

Nella tabella 6.26 viene riportata la percentuale di occupazione dei letti giornaliera per ogni reparto e la rispettiva occupazione media.

### 6.3.2 Analisi dell'ottimizzazione: scenario 1

I risultati relativi all'occupazione delle sale sono riportati nelle tabelle 6.27 e 6.28.

P1	Prenotazioni				Totale	Sala A	Sala B	Sala C	Sala E	Sala Oculistica
	P2	P3	P4							
143/143	112/120	106/130	45/108	406/501	98.8 %	98.8 %	99.3 %	99.5 %	99.5 %	
143/143	112/120	109/130	48/108	412/501	99.5 %	99.3 %	98.9 %	99.6 %	99.9 %	
143/143	112/120	90/130	66/108	411/501	98.4 %	99.0 %	99.1 %	99.5 %	99.9 %	
143/143	104/120	60/130	87/108	394/501	97.0 %	98.9 %	99.2 %	99.7 %	99.6 %	
143/143	111/120	93/130	59/108	406/501	98.9 %	97.9 %	97.8 %	99.5 %	99.4 %	
143/143	111/120	106/130	43/108	403/501	98.1 %	98.7 %	98.8 %	98.6 %	99.8 %	
143/143	112/120	95/130	33/108	383/501	99.1 %	99.3 %	99.5 %	99.1 %	99.0 %	
143/143	112/120	98/130	60/108	413/501	99.2 %	99.1 %	99.3 %	99.8 %	99.9 %	
143/143	112/120	107/130	49/108	411/501	99.2 %	98.2 %	99.0 %	99.7 %	99.7 %	
143/143	112/120	105/130	45/108	405/501	99.3 %	98.7 %	98.7 %	99.1 %	99.0 %	

Tabella 6.27: Imperia 10s: occupazione media sale operatorie

P1	Prenotazioni				Totale	Sala A	Sala B	Sala C	Sala E	Sala Oculistica
	P2	P3	P4							
143/143	111/120	97/130	54/108	405/501	98.8 %	98.8 %	99.0 %	99.4 %	99.6 %	

Tabella 6.28: Imperia 10s: valori medi totali sale operatorie

Facendo riferimento alla tabella 6.27, si nota che ogni esecuzione ha un insieme di 501 prenotazioni totali di cui 143 a priorità P1 e le rimanenti 358 sono quelle a priorità P2, P3 e P4.

La tabella 6.28 contiene la media dell'occupazione di ogni sala e delle prenotazioni assegnate nelle esecuzioni riportate nella tabella 6.27. Si può notare che mediamente vengono assegnate 405 prenotazioni di cui 143 P1, 111 P2, 97 P3 e 54 P4. Per quanto riguarda le sale, si può vedere che sono in media tutte occupate alla quasi totalità della loro massima disponibilità, con valori superiori al 98.8%.

Le informazioni concernenti i reparti e i relativi letti sono riportate nelle tabelle 6.29 e 6.30. Nella tabella 6.29 si possono osservare i posti letto occupati in ognuna delle dieci esecuzioni effettuate, invece, la tabella 6.30 fa riferimento ai valori medi dell'occupazione dei letti calcolati su di esse. In particolare, si hanno 43 letti occupati da parte di 18 P1, 13 P2, 8 P3 e 4 P4.

Con un tempo massimo di esecuzione di 10 secondi, non si riesce ad individuare la pianificazione ottima, infatti osservando la tabella 6.27 si nota che le singole esecuzioni assegnano differenti quantità di prenotazioni P2 e P3 nonostante le istanze siano composte dagli stessi elementi per quelle priorità. Questo accade perché esistono più vie per arrivare alla soluzione ottima e di conseguenza, in un tempo così ridotto, ogni volta, viene

Prenotazioni					Ostetricia/Ginec.	Chirurgia Vasc.	Chirurgia Gen.	Urologia
P1	P2	P3	P4	Totale				
18	14	9	2	43	90.1 %	82.1 %	88.7 %	77.5 %
18	14	10	3	45	96.1 %	100 %	92.7 %	81.4 %
18	14	8	4	44	97.1 %	81.8 %	84.7 %	79.1 %
18	6	4	13	41	95.4 %	74.3 %	81.7 %	64.7 %
18	14	8	2	42	80.8 %	71.8 %	100 %	81.4 %
18	14	9	3	44	87.5 %	100 %	85.3 %	75.2 %
18	14	9	1	42	89.2 %	84.3 %	83.9 %	75.2 %
18	14	7	4	43	81.9 %	79.3 %	85.8 %	78.9 %
18	14	8	2	42	83.3 %	89.3 %	83.3 %	83.9 %
18	14	9	2	43	95.8 %	95.0 %	95.3 %	75.2 %

Tabella 6.29: Imperia 10s: occupazione media posti letto

Prenotazioni					Ostetricia/Ginec.	Chirurgia Vasc.	Chirurgia Gen.	Urologia
P1	P2	P3	P4	Totale				
18	13	8	4	43	90.7 %	85.8 %	88.1 %	77.3 %

Tabella 6.30: Imperia 10s: valori medi totali posti letto

intrapreso un percorso differente. Per valutare se è possibile ottenere delle prestazioni migliori sono stati effettuati ulteriori test con un tempo limite di 100 secondi.

Anche con questa analisi non si riesce ad individuare la soluzione ottima per questa pianificazione, però osservando la tabella 6.31, si può vedere che i valori delle priorità P2 e P3 si sono stabilizzati lungo le dieci esecuzioni effettuate. Conseguentemente, anche i posti letto occupati dai pazienti si sono stabilizzati, come si può notare dalla tabella 6.33. Questo significa che lasciando l'esecuzione per un tempo maggiore, il numero di prenotazioni viene assegnato allo stesso modo per le priorità P2 e P3.

I valori medi delle prenotazioni assegnate e dei posti letto occupati sono riportati nelle tabelle 6.32 e 6.34.

Osservando le figure 6.6 e 6.7 si possono distinguere in dettaglio le differenze tra le casistiche analizzate: dalla figura 6.6 si può notare che dopo 100 secondi, si riescono ad assegnare 414 prenotazioni totali contro le 405 che vengono assegnate dopo soli 10 secondi. In particolare, dopo 10 secondi vengono assegnati 111 P2, 97 P3 e 54 P4 mentre dopo 100 secondi si riescono ad assegnare 112 P2, 109 P3 e 50 P4. Quindi, con un tempo limite di esecuzione maggiore si riescono ad assegnare più prenotazioni a più alta priorità. Anche per quanto riguarda i posti letto, vengono occupati maggiormente da pazienti ad alte priorità, con un totale di 44 letti occupati contro i 43 occupati dopo 10 secondi.

P1	Prenotazioni				Totale	Sala A	Sala B	Sala C	Sala E	Sala Oculistica
	P2	P3	P4							
143/143	112/120	109/130	48/108	412/501	99.5 %	99.8 %	99.7 %	99.4 %	99.7 %	
143/143	112/120	109/130	53/108	417/501	98.6 %	99.5 %	99.6 %	99.7 %	99.9 %	
143/143	112/120	109/130	50/108	414/501	99.6 %	98.5 %	98.9 %	99.8 %	99.9 %	
143/143	112/120	109/130	49/108	413/501	98.5 %	98.4 %	99.1 %	99.4 %	99.9 %	
143/143	112/120	109/130	49/108	413/501	99.5 %	99.8 %	99.3 %	99.8 %	99.6 %	
143/143	112/120	109/130	50/108	414/501	99.8 %	99.1 %	99.1 %	99.6 %	99.5 %	
143/143	112/120	109/130	52/108	416/501	99.5 %	99.1 %	99.0 %	99.3 %	99.9 %	
143/143	112/120	109/130	51/108	415/501	99.5 %	99.5 %	99.6 %	99.6 %	99.9 %	
143/143	112/120	109/130	52/108	416/501	99.1 %	99.4 %	99.5 %	99.4 %	99.8 %	
143/143	112/120	109/130	50/108	414/501	99.0 %	99.7 %	98.0 %	99.8 %	99.3 %	

Tabella 6.31: Imperia 100s: occupazione media sale operatorie

P1	Prenotazioni				Totale	Sala A	Sala B	Sala C	Sala E	Sala Oculistica
	P2	P3	P4							
143/143	112/120	109/130	50/108	412/501	99.5 %	99.8 %	99.7 %	99.4 %	99.7 %	

Tabella 6.32: Imperia 100s: valori medi totali sale operatorie

P1	Prenotazioni				Totale	Ostetricia/Ginec.	Chirurgia Vasc.	Chirurgia Gen.	Urologia
	P2	P3	P4						
18	14	10	1	43	95.8 %	90.0 %	96.7 %	72.5 %	
18	14	10	2	44	96.1 %	97.1 %	90.4 %	80.0 %	
18	14	10	2	44	92.8 %	78.9 %	100 %	70.2 %	
18	14	10	1	43	94.1 %	81.8 %	81.3 %	71.1 %	
18	14	10	1	43	87.2 %	97.1 %	96.0 %	75.0 %	
18	14	10	3	45	93.1 %	84.6 %	89.8 %	76.6 %	
18	14	10	1	43	92.4 %	87.1 %	85.3 %	76.9 %	
18	14	10	1	43	88.8 %	87.1 %	96.0 %	68.0 %	
18	14	10	3	45	98.8 %	94.6 %	96.0 %	77.5 %	
18	14	10	1	43	94.4 %	81.8 %	85.3 %	83.9 %	

Tabella 6.33: Imperia 100s: occupazione media posti letto

P1	Prenotazioni				Totale	Ostetricia/Ginec.	Chirurgia Vasc.	Chirurgia Gen.	Urologia
	P2	P3	P4						
18	14	10	1	43	95.8 %	90.0 %	96.7 %	72.5 %	

Tabella 6.34: Imperia 100s: valori medi totali posti letto

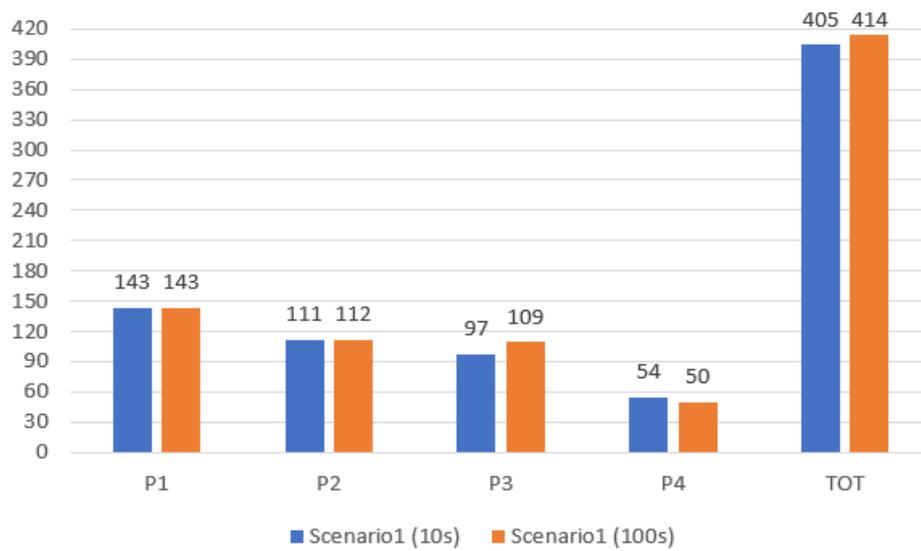


Figura 6.6: Imperia: confronto prenotazioni scenario1 10s e 100s

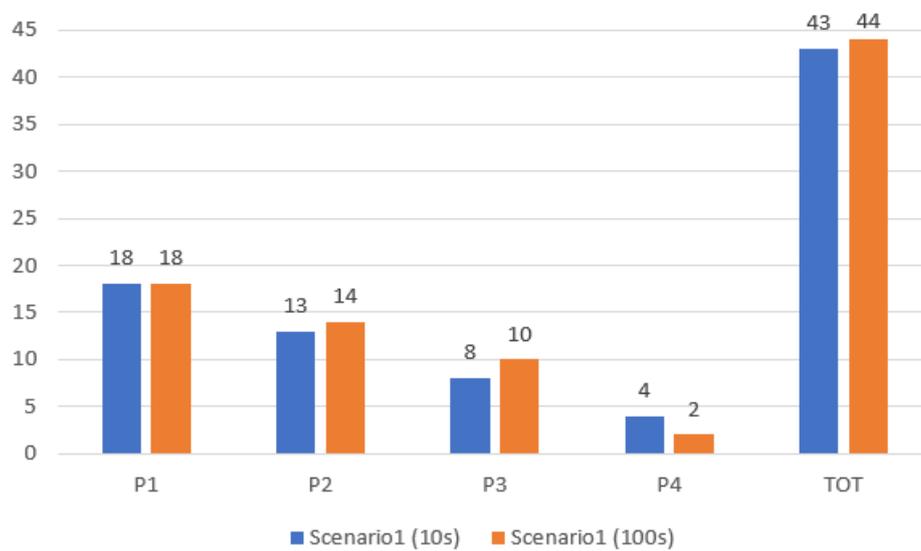


Figura 6.7: Imperia: confronto letti scenario1 10s e 100s

### 6.3.3 Analisi dell'ottimizzazione: scenario 2

Per questo secondo scenario, la struttura tabellare è la stessa vista precedentemente. Di seguito vengono riportate le tabelle relative all'occupazione delle sale:

P1	Registrazioni				Totale	Sala A	Sala B	Sala C	Sala E	Sala Oculistica
	P2	P3	P4							
143/143	107/120	100/130	50/108	400/501	99.4 %	98.9 %	98.5 %	99.2 %	99.1 %	
143/143	109/120	102/130	58/108	412/501	98.8 %	98.6 %	98.3 %	99.4 %	99.8 %	
143/143	109/120	100/130	51/108	403/501	99.5 %	98.0 %	98.7 %	99.4 %	99.4 %	
143/143	110/120	108/130	48/108	409/501	97.7 %	98.9 %	98.7 %	99.3 %	99.1 %	
143/143	110/120	109/130	49/108	411/501	99.1 %	99.7 %	99.3 %	99.6 %	99.9 %	
143/143	110/120	106/130	43/108	402/501	98.7 %	98.9 %	99.2 %	99.9 %	99.5 %	
143/143	110/120	109/130	43/108	405/501	99.7 %	99.1 %	99.1 %	99.2 %	99.7 %	
143/143	110/120	108/130	41/108	402/501	98.8 %	97.9 %	94.2 %	99.1 %	99.0 %	
143/143	109/120	101/130	68/108	421/501	98.5 %	99.1 %	99.0 %	99.6 %	99.3 %	
143/143	69/120	97/130	83/108	392/501	94.6 %	98.4 %	99.2 %	99.7 %	99.9 %	

Tabella 6.35: Imperia scenario 2: occupazione media sale operatorie

P1	Registrazioni				Totale	Sala A	Sala B	Sala C	Sala E	Sala Oculistica
	P2	P3	P4							
143/143	105/120	104/130	53/108	406/501	98.5 %	98.8 %	98.4 %	99.4 %	99.5 %	

Tabella 6.36: Imperia scenario 2: valori medi totali sale operatorie

La tabella 6.35 riporta i dati di ciascuna esecuzione effettuata. La tabella 6.36 mostra i valori medi delle prenotazioni assegnate e dell'occupazione delle sale per le esecuzioni riportate in 6.35. Da essa si evince che vengono assegnate in media 406 prenotazioni totali e anche in questo caso le sale vengono utilizzate quasi totalmente, con una media generale superiore al 98.0%.

Riguardo all'occupazione dei posti letto si deve fare riferimento alle tabelle 6.37 e 6.38. La tabella 6.37 riporta i dati dei posti letto occupati per ogni esecuzione effettuata. Invece, la tabella 6.38 rappresenta i valori medi dei posti letto occupati e le percentuali per ogni reparto rispetto alle 10 esecuzioni effettuate.

Infine, è stato fatto un confronto tra lo scenario 1 di 10 secondi descritto precedentemente e lo scenario 2 in questione.

Nella figura 6.8, vengono messe a confronto le prenotazioni assegnate nei due scenari. In particolare, nello scenario 1 vengono assegnate 143 P1, 111 P2, 97 P3 e 54 P4, per un totale di 405 prenotazioni. Invece, nello scenario 2 vengono assegnate 143 P1, 105 P2, 104 P3 e 53 P4, per un totale di 405 prenotazioni.

Prenotazioni					Ostetricia/Ginec.	Chirurgia Vasc.	Chirurgia Gen.	Urologia
P1	P2	P3	P4	Totale				
18	12	7	4	41	98.8 %	90.0 %	76.8 %	76.8 %
18	12	8	3	41	98.8 %	74.3 %	80.8 %	76.8 %
18	12	8	4	42	90.2 %	97.1 %	87.5 %	76.8 %
18	12	10	1	41	98.8 %	90.0 %	88.2 %	76.8 %
18	12	10	1	41	93.5 %	90.0 %	92.2 %	76.8 %
18	12	10	2	42	93.5 %	84.3 %	88.2 %	76.8 %
18	12	10	2	42	98.8 %	100 %	95.5 %	76.8 %
18	12	10	1	41	98.8 %	90.0 %	92.2 %	76.8 %
18	12	7	5	42	98.8 %	100 %	84.8 %	76.8 %
18	11	8	6	43	98.8 %	97.1 %	84.8 %	76.8 %

Tabella 6.37: Imperia scenario 2: occupazione media posti letto

Prenotazioni					Ostetricia/Ginec.	Chirurgia Vasc.	Chirurgia Gen.	Urologia
P1	P2	P3	P4	Totale				
18	12	9	3	42	96.9 %	91.3 %	87.1 %	76.8 %

Tabella 6.38: Imperia scenario 2: valori medi totali posti letto

Nella figura 6.9, vengono confrontati i posti letto occupati. Specificatamente, nello scenario 1 vengono occupati 43 letti di cui 18 da P1, 13 da P2, 8 da P3 e 4 da P4. Invece, nello scenario 2 vengono occupati 42 letti di cui 18 da P1, 12 da P2, 9 da P3 e 3 da P4.

Sulla base di ciò si può dire che, anche se entrambi gli scenari assegnano lo stesso numero di pazienti, lo scenario 1 riesce ad assegnare più pazienti a priorità maggiore e conseguentemente anche i letti sono occupati da pazienti con livelli di priorità più elevati.

Le differenze che si evincono sono dovute dal fatto che lo scenario 2 assegna le prenotazioni P1 nei giorni e nelle sale previste dalla pianificazione originale dell'ASL, questo comporta una maggiore restrizione nel caso in cui si cerca di ottimizzare aggiungendo ulteriori prenotazioni.

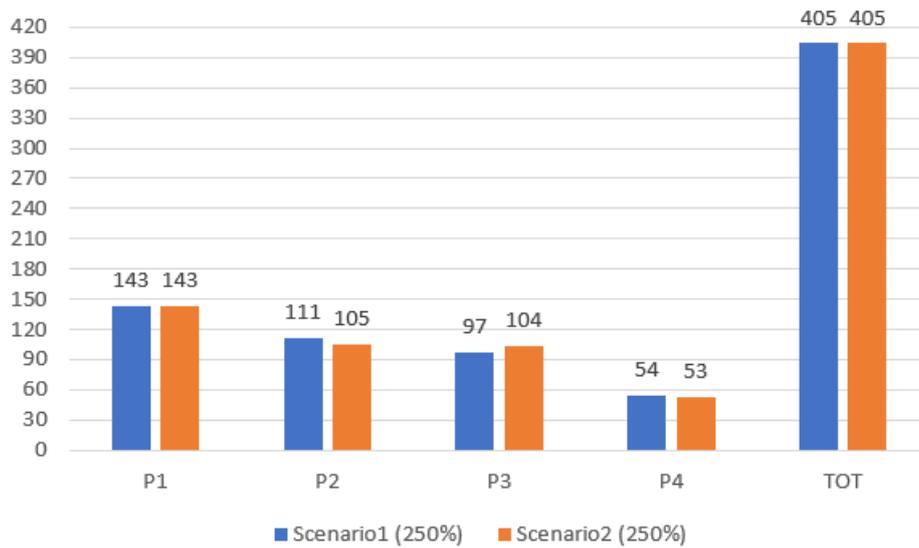


Figura 6.8: Imperia: confronto prenotazioni scenario1 e scenario2

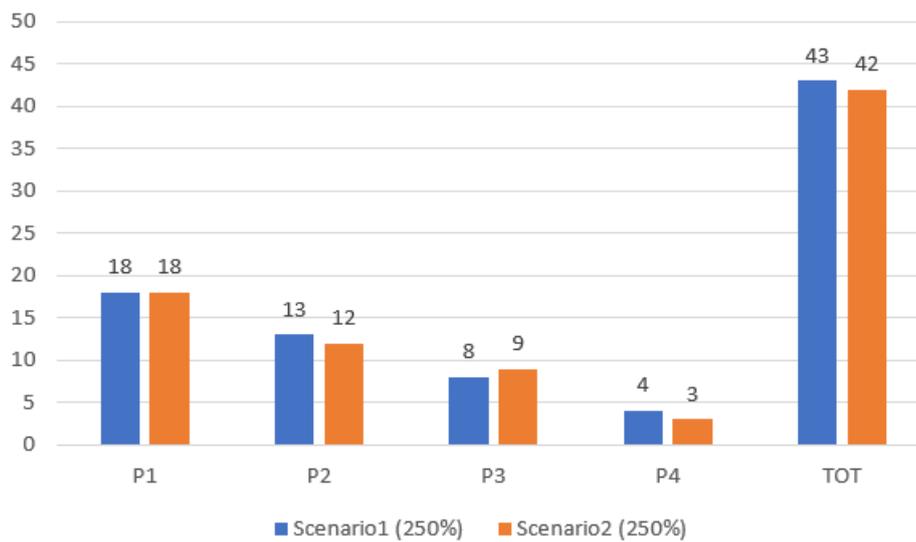


Figura 6.9: Imperia: confronto letti scenario1 e scenario2

## 6.4 Considerazioni generali

Si è visto che l'obiettivo nei diversi scenari analizzati è quello di assegnare completamente le prenotazioni P1 per poi procedere ad assegnare le prenotazioni aggiuntive a priorità inferiori, dando la precedenza alle P2, poi alle P3 e infine alle P4. Una caratteristica che si può notare nei risultati ottenuti è la seguente: anche se le prenotazioni a priorità P2 non sono state completamente assegnate, sono state comunque inserite delle priorità a livello inferiore. Questo comportamento è dovuto al fatto che le risorse rimaste a disposizione (tempo di sala disponibile e letti liberi) non erano sufficienti per poter assegnare le prenotazioni P2 rimanenti, perciò sono state assegnate quelle a priorità P3. La stessa situazione si è presentata tra le P3 e P4, perché anche le P3 non sono state assegnate completamente ma qualche prenotazione P4 è stata comunque inserita nella pianificazione.

Riassumendo i risultati ottenuti riguardo all'ottimizzazione effettuata sulle tre sedi, si può dire che:

- Per la sede di Bordighera, nello scenario 1 vengono assegnate complessivamente meno prenotazioni rispetto allo scenario 2. Come si è visto in precedenza, questa differenza è dovuta dal fatto che nel primo scenario è stato deciso di utilizzare solamente la Sala B in quanto la Sala A nella pianificazione originale veniva utilizzata solamente per un intervento in un solo giorno. A proposito di ciò, dato che nel secondo scenario viene utilizzata la Sala A, si riesce ad assegnare qualche prenotazione in più;
- Per la sede di Sanremo, nello scenario 1 si ottengono risultati migliori dello scenario 2 in quanto le prenotazioni P1 vengono assegnate nel modo più opportuno e questo permette di assegnare complessivamente più prenotazioni poiché si riesce a sfruttare meglio la capacità delle sale e i letti a disposizione. Invece, nello scenario 2 si deve ottimizzare la pianificazione originale dell'ASL e questo non permette di ottenere risultati altrettanto buoni;
- Per la sede di Imperia, nello scenario 1 e scenario 2 nel complesso viene assegnata la stessa quantità di prenotazioni però si ritiene migliore la soluzione dello scenario 1 in quanto si riescono ad assegnare più prenotazioni, tra quelle aggiuntive, a priorità maggiore.

# Capitolo 7

## Ripianificazione

In questo capitolo verrà descritta la codifica ASP spiegando in dettaglio le regole e i vincoli utilizzati nei tre diversi scenari esposti nel Capitolo 3 per i quali è necessaria una ripianificazione degli interventi già assegnati alle sale operatorie.

### 7.1 Input

I dati di input sono costituiti dai seguenti atomi:

$x(NOSOLOGICAL, P, OR, SPECIALTY, DAY, TIMING)$ : rappresenta l'output della pianificazione che deve essere ricalcolata poiché per un qualche motivo non può essere più portata a termine. Come detto nel Capitolo 3, in questa tesi si ipotizza che si verifichi un imprevisto nel giorno 2 della settimana perciò tra le istanze di questo atomo si hanno tutti gli interventi assegnati dal giorno 3 in poi e in più quelli del giorno 2 che devono essere posticipati.

$registration(NOSOLOGICAL, P, SPECIALTY, REG, TIMING, RICOV, IN, OUT)$ : come già visto precedentemente, questo atomo indica una prenotazione. In questo caso però si hanno solamente le prenotazioni relative agli interventi che appartengono alla pianificazione da rischedulare.

$mss(OR, SPECIALTY, DAY)$ : rappresenta un'istanza del *Master Surgical Schedule*, le sue caratteristiche sono rimaste invariate rispetto a quelle visto per la pianificazione. L'unica differenza è che si hanno le disponibilità delle sale nei reparti solo per i giorni interessati dalla ripianificazione, ovvero dal giorno 3 fino al giorno 5.

$beds(N, SPECIALTY, DAY)$ : rappresenta la disponibilità dei letti in un reparto, è caratterizzato dal numero di letti disponibili (N), dal codice del reparto (SPECIALTY) e dal giorno della settimana (DAY).

## 7.2 Output

Gli elementi di output sono i seguenti:

$y(NOSOLOGICAL, P, OR, SPECIALTY, DAY, TIMING)$ : sono le istanze che compongono la nuova pianificazione dal giorno 3 in poi. Ognuna di esse indica che l'intervento del paziente (NOSOLOGICAL) con una determinata priorità (P) e una certa durata (TIMING), è stato riassegnato in una sala operatoria (OR), in un dato reparto (SPECIALTY) e in un nuovo giorno della settimana (DAY).

Dunque, l'output sarà costituito dall'insieme degli interventi riassegnati lungo i tre giorni rimanenti della settimana (3, 4, 5).

## 7.3 Codifica

Di seguito verranno esaminate in modo accurato le regole ASP comuni ai tre scenari analizzati e successivamente verranno riportate in dettaglio le regole aggiuntive utilizzate esclusivamente per ciascuno di essi.

La regola  $rr_1$  è la seguente:

```
0 {y(NOSOLOGICAL,P,OR,SPECIALTY,DAY,TIMING)
  : mss(OR,SPECIALTY,DAY)} 1 :- x(NOSOLOGICAL,P,_,SPECIALTY,_,TIMING).
```

Questa regola permette di effettuare le riassegnazioni, indica che un intervento della vecchia pianificazione sarà riassegnato in un determinato giorno (DAY), in una sala disponibile (OR), come specificato dal MSS, nel reparto a cui l'intervento fa riferimento (SPECIALTY). Inoltre, la struttura di tale regola permette di rispettare il *vincolo di assegnazione delle prenotazioni* visto anche per la pianificazione.

Successivamente si ha il vincolo  $rr_2$ :

```
:- mss(OR,_,DAY), #sum{TIMING,NOSOLOGICAL
  : y(NOSOLOGICAL,_,OR,_,DAY,TIMING)} > timeMax.
```

Questo vincolo serve per rispettare il cosiddetto *vincolo del tempo di sala operatoria*, infatti, come si è visto per la pianificazione, vengono sommate le durate dei singoli interventi chirurgici effettuati in una stessa sala (OR) per ogni giorno (DAY) e tale somma non deve eccedere il tempo massimo a disposizione per quella sala (timeMax).

Proseguendo, si hanno le regole per l'assegnazione dei posti letto, rispettivamente  $rr_3$ ,  $rr_4$ ,  $rr_5$  ed  $rr_6$ :

```
stay(NOSOLOGICAL,SPECIALTY,OldD-IN..NewD-1)
:- x(NOSOLOGICAL,_,_,SPECIALTY,OldD,_),
   y(NOSOLOGICAL,_,_,SPECIALTY,NewD,_),
   registration(NOSOLOGICAL,_,SPECIALTY,"Ordinario",_,0,IN,_),
   OldD-IN < startDay, IN > 0.
```

```
stay(NOSOLOGICAL,SPECIALTY,NewD-IN..NewD-1)
:- x(NOSOLOGICAL,_,_,SPECIALTY,OldD,_),
   y(NOSOLOGICAL,_,_,SPECIALTY,NewD,_),
   registration(NOSOLOGICAL,_,SPECIALTY,"Ordinario",_,0,IN,_),
   OldD-IN >= startDay, IN > 0.
```

```
stay(NOSOLOGICAL,SPECIALTY,OldD-IN..7)
:- x(NOSOLOGICAL,_,_,SPECIALTY,OldD,_),
   not y(NOSOLOGICAL,_,_,SPECIALTY,_,_),
   registration(NOSOLOGICAL,_,SPECIALTY,"Ordinario",_,0,IN,_),
   OldD-IN < startDay, IN > 0.
```

```
stay(NOSOLOGICAL,SPECIALTY,DAY..OUT+DAY)
:- y(NOSOLOGICAL,_,_,SPECIALTY,DAY,_),
   registration(NOSOLOGICAL,_,SPECIALTY,"Ordinario",_,0,_,OUT),
   OUT >= 0.
```

In particolare:

- Regola  $rr_3$ : per i pazienti assegnati che, nella vecchia pianificazione avrebbero dovuto occupare un posto letto prima del giorno in cui si effettua la ripianificazione (OldD-IN < startDay), in seguito alla riassegnazione, il giorno di pre-ricovero rimarrà invariato rispetto alla pianificazione precedente. Questo perché tali pazienti sono già presenti in ospedale, di conseguenza la durata dell'ospedalizzazione sarà calcolata fino al giorno prima del nuovo giorno assegnato per l'intervento (NewD - 1).
- Regola  $rr_4$ : per i pazienti assegnati che, nella vecchia pianificazione avrebbero dovuto occupare un posto letto dopo il giorno in cui si effettua la ripianificazione (OldD-IN >= startDay), in seguito alla riassegnazione, occuperanno un letto per il pre-ricovero a partire da un giorno calcolato rispetto al nuovo giorno schedulato per l'intervento (NewD-IN), fino al giorno prima dell'intervento stesso (NewD - 1).

- Regola  $rr_5$ : riguarda i pazienti già ricoverati ma che non vengono riassegnati per far spazio a pazienti di priorità maggiore. Essi, occuperanno un posto letto fino alla fine della settimana in vista di essere poi assegnati nella pianificazione che verrà fatta per la prossima settimana.
- Regola  $rr_6$ : era presente anche nella codifica della pianificazione, ha lo scopo di assegnare un posto letto ai pazienti per il giorno dell'intervento e per i giorni successivi ad esso.

Subito dopo si ha il vincolo  $rr_7$ :

```
:- beds(N, SPECIALTY, DAY),
   #count{NOSOLOGICAL : stay(NOSOLOGICAL, SPECIALTY, DAY)} > N.
```

Il suddetto vincolo serve per rispettare il cosiddetto *vincolo dei posti letto*, già visto per la codifica della pianificazione.

È importante tenere presente che non è possibile riassegnare tutti gli interventi liberamente nei giorni 3, 4 e 5. Infatti, se un intervento relativo ad un paziente che non è ancora ricoverato in ospedale prima del giorno di rischedulazione o il giorno stesso viene riassegnato in giorni antecedenti rispetto a quello della vecchia schedulazione, può succedere che il paziente, per via dei giorni di pre-ricovero, vada ad occupare un posto letto in un giorno già passato e questo ovviamente non è possibile poiché non si può modificare il passato.

A questo proposito, si hanno rispettivamente la regola  $rr_8$  e il vincolo  $rr_9$ :

```
fixed(NOSOLOGICAL, IN) :- x(NOSOLOGICAL, _, _, OldD, _),
   registration(NOSOLOGICAL, _, _, "Ordinario", _, 0, IN, _),
   OldD-IN >= startDay.
```

```
:- fixed(NOSOLOGICAL, IN),
   y(NOSOLOGICAL, _, _, NewD, _), NewD-IN < startDay.
```

Nello specifico:

- Regola  $rr_8$ : identifica tutti i pazienti che richiedono un letto e che non erano ancora in ospedale prima del giorno in cui si effettua la rischedulazione ( $startDay = 3$ );
- Vincolo  $rr_9$ : indica che il primo giorno di ricovero ( $NewD-IN$ ) calcolato rispetto al nuovo giorno assegnato per l'intervento ( $NewD$ ) non deve essere minore del giorno 3 ( $startDay = 3$ ), perché altrimenti significa che il paziente andrebbe ad occupare un letto in un giorno che è già passato.

Inoltre, è importante che tutte gli interventi a priorità P1 siano riassegnati completamente. Questo requisito è rispettato dal seguente vicolo  $rr_{10}$ :

$$\begin{aligned} :- & M = \#count \{NOSOLOGICAL: x(NOSOLOGICAL, 1, \_, \_, \_, \_)\}, \\ & N = \#count\{NOSOLOGICAL: y(NOSOLOGICAL, 1, \_, \_, \_, \_)\}, \\ & Z = M - N, Z > 0. \end{aligned}$$

Nello specifico, la differenza tra il calcolo del numero di operazioni a priorità P1 nella vecchia pianificazione (M) e il calcolo del numero di interventi a priorità P1 nella ripianificazione (N) deve essere nulla.

Da qui in poi verranno descritte le regole specifiche per ciascun scenario.

### 7.3.1 Scenario 1

Una volta che si riassegnano tutti gli interventi a priorità P1, lo scenario 1 ha come obiettivo di riassegnare il maggior numero possibile delle altre operazioni a priorità inferiori, dando precedenza in base al livello prioritario.

Quanto detto viene realizzato attraverso i *weak constraint*  $rr_{11}$ ,  $rr_{12}$  e  $rr_{13}$ :

$$\begin{aligned} :~ & M = \#count\{NOSOLOGICAL: x(NOSOLOGICAL, 2, \_, \_, \_, \_)\}, \\ & N = \#count\{NOSOLOGICAL: y(NOSOLOGICAL, 2, \_, \_, \_, \_)\}, \\ & Z = M - N. [Z@4] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} :~ & M = \#count\{NOSOLOGICAL: x(NOSOLOGICAL, 3, \_, \_, \_, \_)\}, \\ & N = \#count\{NOSOLOGICAL: y(NOSOLOGICAL, 3, \_, \_, \_, \_)\}, \\ & Z = M - N. [Z@3] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} :~ & M = \#count\{NOSOLOGICAL: x(NOSOLOGICAL, 4, \_, \_, \_, \_)\}, \\ & N = \#count\{NOSOLOGICAL: y(NOSOLOGICAL, 4, \_, \_, \_, \_)\}, \\ & Z = M - N. [Z@2] \end{aligned}$$

Infine, si cerca di ridurre il più possibile la somma delle differenze calcolate per ogni intervento tra il nuovo giorno assegnato rispetto a quello della vecchia pianificazione. Il tutto viene effettuato tramite il *weak constraint*  $rr_{14}$ :

$$\begin{aligned} :~ & x(NOSOLOGICAL, \_, \_, \_, OldD, \_), \\ & y(NOSOLOGICAL, \_, \_, \_, NewD, \_), \\ & DF = |OldD - NewD|. [DF@1, NOSOLOGICAL] \end{aligned}$$

Questa è un'operazione che viene eseguita per ridurre per quanto possibile eventuali disagi che possono insorgere per via dello spostamento di un intervento rispetto al giorno

in cui era originariamente previsto. Questo vincolo viene, però, eseguito con un'importanza minore rispetto alla massimizzazione del numero di riassegnamenti degli interventi, infatti il peso associato è inferiore rispetto a quello degli altri.

### 7.3.2 Scenario 2

Lo scenario 2, utilizza gli stessi *weak constraint* dello scenario 1, però contrariamente a quest'ultimo dà maggiore rilievo alla riassegnazione degli interventi in un giorno che sia il più vicino possibile a quello della vecchia pianificazione:

```
:~ x(NOSOLOGICAL,_,_,_,OldD,_),
    y(NOSOLOGICAL,_,_,_,NewD,_),
    DF = |OldD - NewD|. [DF@4, NOSOLOGICAL]

:~ M = #count{NOSOLOGICAL: x(NOSOLOGICAL,2,_,_,_,_)},
    N = #count{NOSOLOGICAL: y(NOSOLOGICAL,2,_,_,_,_)},
    Z = M - N. [Z@3]

:~ M = #count{NOSOLOGICAL: x(NOSOLOGICAL,3,_,_,_,_)},
    N = #count{NOSOLOGICAL: y(NOSOLOGICAL,3,_,_,_,_)},
    Z = M - N. [Z@2]

:~ M = #count{NOSOLOGICAL: x(NOSOLOGICAL,4,_,_,_,_)},
    N = #count{NOSOLOGICAL: y(NOSOLOGICAL,4,_,_,_,_)},
    Z = M - N. [Z@1]
```

Come si può notare, il vincolo  $rr_{14}$  ha un peso superiore ai vincoli  $rr_{11}$ ,  $rr_{12}$  e  $rr_{13}$ .

### 7.3.3 Scenario 3

Come già detto nel Capitolo 3, in questo scenario, si fa l'ipotesi che un intervento previsto per il giorno 2 che è stato rinviato, possa essere riassegnato solamente a partire da un dato giorno X. Quindi, viene introdotto un nuovo atomo in input:

```
postponed(NOSOLOGICAL, DAY)
```

Il suddetto atomo indica il nosologico del paziente (NOSOLOGICAL) e il primo giorno disponibile nel quale l'intervento, a cui il paziente deve essere sottoposto, può essere riassegnato (DAY).

Sulla base di quanto appena detto, viene introdotto un nuovo vincolo  $rr_{15}$ :

```
:- y(NOSOLOGICAL,_,_,_,DAY1,_),  
   postponed(NOSOLOGICAL,DAY2), DAY1 < DAY2.
```

Il vincolo  $rr_{15}$  impedisce che un determinato intervento venga riassegnato in un giorno (DAY1) che sia antecedente al primo giorno disponibile in cui il paziente può essere nuovamente operato (DAY2).

Successivamente, vengono utilizzati gli stessi *weak constraint*  $rr_{11}$ ,  $rr_{12}$  e  $rr_{13}$  per massimizzare il riassegnamento degli interventi a priorità P2, P3 e P4.

Infine, si ha il *weak constraint*  $rr_{16}$ :

```
:-~ postponed(NOSOLOGICAL,DAY),  
   y(NOSOLOGICAL,_,_,_,NewD,_),  
   DF = |NewD - Day|. [DF@1, NOSOLOGICAL]
```

A differenza dei due scenari precedenti, dopo aver cercato di riassegnare più interventi possibili, si punta a minimizzare la somma delle differenze in termini di giorni calcolate per ogni intervento tra il nuovo giorno in cui viene riassegnato (NewD) e il primo giorno di disponibilità (DAY).

## 7.4 Analisi dei risultati

In questo paragrafo vengono riportati i risultati dell'analisi sperimentale eseguita per ogni scenario indicato precedentemente.

A differenza dell'analisi mostrata per la pianificazione che è stata fatta su tutte e tre le sedi dell'ASL 1, in questo caso ci si è limitati ad effettuare dei test esclusivamente per la sede di Sanremo.

Come già accennato, si è ipotizzato che per ogni scenario si verificasse un imprevisto nel giorno 2 della settimana per cui la pianificazione effettuata non può più essere portata a termine, di conseguenza è stata effettuata una ripianificazione sui giorni rimanenti 3, 4 e 5. Ciascuno di essi si articola in quattro casi differenti:

- Caso I: un solo intervento del giorno 2 viene posticipato.
- Caso II: due interventi del giorno 2 vengono posticipati.
- Caso III: quattro interventi del giorno 2 vengono posticipati.
- Caso IV: sei interventi del giorno 2 vengono posticipati.

I risultati sono dei valori medi calcolati su dieci esecuzioni per ogni caso e per tutti e tre gli scenari sono riportati in una tabella organizzata in questo modo:

- La prima colonna indica il caso di riferimento;
- La seconda colonna mostra il numero di interventi chirurgici del giorno 2 che sono stati posticipati;
- La terza colonna rappresenta il numero di interventi che erano schedulati nella vecchia pianificazione;
- La quarta colonna riguarda il numero di interventi medio che non si è riusciti a riassegnare.
- La quinta colonna indica il numero totale di interventi riassegnati.
- La sesta colonna indica per il primo e secondo scenario il valore medio dello shift totale in giorni tra il nuovo giorno assegnato e quello della vecchia schedulazione mentre per il terzo scenario indica lo shift totale tra il nuovo giorno assegnato e il primo giorno di disponibilità.

I test sono stati eseguiti su un computer con le stesse caratteristiche viste per l'analisi della pianificazione. Il sistema ASP usato è CLINGO versione 5.4.0.

### 7.4.1 Scenario 1

I risultati per il primo scenario sono riportati nella tabella 7.1:

Caso	Int. rinviati	Int. precedenti	Int. scartati	Int. totali riassegnati	Shift (Giorni)
I	1	34	0	35	2
II	2	34	0	36	4
III	4	34	1	37	6
IV	6	34	1	39	8

Tabella 7.1: Risultati ripianificazione scenario 1

Nel complesso, dalla tabella 7.1 si può notare che nei casi I e II si riesce a riassegnare tutti gli interventi posticipati. Anche nei casi III e IV in cui si hanno più interventi posticipati, si riescono ad ottenere dei buoni risultati poiché la maggior parte degli interventi viene riassegnata scartandone mediamente solo uno.

## 7.4.2 Scenario 2

I risultati per il secondo scenario sono riportati nella tabella 7.2:

Caso	Int. rinviati	Int. precedenti	Int. scartati	Int. totali riassegnati	Shift (Giorni)
I	1	34	0	35	1
II	2	34	1	35	2
III	4	34	2	36	3
IV	6	34	3	37	5

Tabella 7.2: Risultati ripianificazione scenario 2

Dalla tabella 7.2 si può riscontrare che nel caso I, con un solo intervento rinviato è possibile riassegnare tutti gli interventi nei giorni a disposizione. All'aumentare del numero di interventi posticipati, rispettivamente nel caso II, III e IV aumentano anche il numero di interventi che rimangono esclusi nella ripianificazione.

In particolare, si rileva che, a differenza dello scenario 1 dove si riescono ad assegnare più pazienti, nello scenario 2 lo shift totale al quale sono soggetti gli interventi tra il giorno pianificato originariamente e quello ripianificato è minore, questo significa che gli interventi si discostano meno dal giorno in cui erano assegnati precedentemente.

## 7.4.3 Scenario 3

I risultati per il terzo scenario sono riportati nella tabella 7.3:

Caso	Int. rinviati	Int. precedenti	Int. scartati	Int. totali riassegnati	Shift (Giorni)
I	1	34	0	35	0
II	2	34	0	36	0
III	4	34	1	37	0
IV	6	34	2	38	0

Tabella 7.3: Risultati ripianificazione scenario 3

Dalla tabella 7.3 si può osservare che in media nei casi I e II si riescono a riassegnare tutti gli interventi della vecchia pianificazione. Invece, nel caso III e IV, che sono quelli con più interventi rinviati, non si riesce a fare una riassegnazione totale ma vengono scartati rispettivamente uno e due interventi. Però è importante evidenziare che in tutti e quattro i casi i pazienti vengono riassegnati nel primo giorno a disposizione.

È importante sottolineare che in tutti e tre gli scenari e in ciascuna loro casistica, si riesce ad individuare la ripianificazione ottima e gli interventi che vengono scartati sono tutti interventi corrispondenti alle priorità più basse.

# Capitolo 8

## Letteratura relativa

In questo capitolo viene descritto lo stato dell'arte. In particolare, nel primo paragrafo vengono analizzati altri lavori esistenti che utilizzano tecniche differenti rispetto a quella vista in questa tesi per effettuare la pianificazione degli interventi chirurgici nelle sale operatorie. Invece, nel secondo paragrafo vengono presentati altri lavori che utilizzano l'ASP per risolvere problemi di pianificazione.

### 8.1 Pianificazione degli interventi chirurgici

In (Aringhieri et al. 2015) è stato analizzato il problema della schedulazione degli interventi chirurgici su un orizzonte di pianificazione di una settimana considerando diversi reparti che condividono un numero fisso di sale operatorie e posti letto post-operatori. Il problema viene affrontato utilizzando un metodo a due fasi con l'obiettivo sia di minimizzare i tempi di attesa dei pazienti che massimizzare l'utilizzo delle risorse dell'ospedale. L'efficacia della soluzione è stata mostrata attraverso l'utilizzo di un insieme di dati reali.

In (Landa et al. 2016), il problema affrontato è costituito da due sottoproblemi interconnessi. Nel primo sottoproblema, le decisioni prese riguardano l'assegnazione di una data per l'intervento e di un blocco operatorio ad un insieme di pazienti da operare in un determinato orizzonte di pianificazione. Il secondo mira a determinare la sequenza di pazienti selezionati in ciascun giorno e in ogni sala operatoria. Per risolvere l'intero problema è stato ideato un algoritmo ibrido di ottimizzazione a due fasi che sfrutta le potenzialità della neighborhood search combinate con la simulazione Monte Carlo. Per valutare i risultati ottenuti è stata effettuata un'analisi basata su un insieme di dati reali.

In (Abedini et al. 2016) è stata proposta una soluzione che sfrutta il modello del *bin packing* con un approccio a più fasi e una regola di durata del tipo di priorità (PTD). Il

modello massimizza l'utilizzo e riduce al minimo il tempo di inattività, che di conseguenza incide sul costo in fase di pianificazione.

In (Zhang et al. 2017) si affronta il problema della pianificazione delle sale operatorie con esigenze diverse sia dai pazienti elettivi che da quelli non elettivi. Viene applicata una politica dipendente dal tempo per la gestione delle liste di attesa dei pazienti per determinare le priorità dei pazienti in base ai livelli di urgenza e ai tempi di attesa. Questo problema è formulato come un *stochastic shortest-path MDP* (Markov Decision Process) con vicoli ciechi e risolto con il metodo dell'iterazione asincrona del valore. I risultati dell'esperimento numerico mostrano che, rispetto al modello MDP regolare, il modello proposto con una politica dipendente dal tempo è più efficiente nel ridurre i tempi di attesa dei pazienti e non porta a un aumento significativo dell'utilizzo eccessivo delle sale.

## 8.2 ASP nei problemi di pianificazione

Come già detto in precedenza, l'ASP è stata utilizzata in (Dodaro et al. 2018) per risolvere il problema della pianificazione degli interventi chirurgici nelle sale operatorie senza tenere conto della gestione dei posti letto nei reparti. Sono state prese in considerazione diverse specialità, la durata dell'intervento, i turni nei quali è possibile utilizzare le sale operatorie e le priorità degli interventi. Un'estensione di questo lavoro è stata presentata in (Dodaro et al. 2019) in cui si considera su un orizzonte di pianificazione di 5 giorni lavorativi e viene aggiunta la gestione dei posti letto nei reparti e nelle unità di terapia intensiva. Un'ulteriore estensione è stata proposta in (Dodaro et al. 2021b) dove è stata fatta un'analisi di scalabilità fino ad un orizzonte di pianificazione di 15 giorni. Inoltre, è stata presentata anche una soluzione per la ripianificazione nell'eventualità che accadano degli imprevisti che non permettano di utilizzare la pianificazione effettuata a priori. Inoltre, è stata realizzata anche un'applicazione per mostrare graficamente i risultati. L'analisi sperimentale di questi lavori è stata effettuata su dati generati casualmente con parametri ispirati a dati reali.

I suddetti lavori sono la base sulla quale si articola il lavoro esposto in questa tesi estendendo la soluzione al caso reale dell'ASL 1 Liguria.

Esistono anche altri lavori che propongono ulteriori varianti:

In (Dodaro et al. 2021c) è stata proposta una soluzione al suddetto problema gestendo inoltre il team chirurgico, che include un chirurgo e un anestesista per differenti specialità. Perciò bisogna tenere in considerazione che un intervento può essere assegnato in una sala e in un giorno solamente se sono disponibili un chirurgo e un anestesista per l'intera durata dell'intervento. Anche in questo lavoro sono stati utilizzati dei dati generati attraverso dei parametri ispirati a dati reali, effettuando dei test su un orizzonte di pianifi-

cazione scalabile che va da 1 a 5 giorni.

In (Galatà et al. 2021) si affronta la pianificazione e la ripianificazione degli interventi chirurgici gestendo specificatamente la disponibilità dei letti per le unità di post-anestesia e per le unità di terapia intensiva. Si considera il fatto che i posti letto per la post-anestesia e la terapia intensiva sono utilizzati dai pazienti coinvolti in interventi complessi e in particolare che la degenza è di uno o più giorni in terapia intensiva mentre per l'unità di post-anestesia è di poche ore. Per testare la soluzione è stata effettuata un'analisi su un orizzonte di pianificazione di 5 giorni e due scenari differenti, il primo con un'ampia disponibilità di letti e il secondo con una disponibilità limitata.

L'ASP è stata utilizzata anche per risolvere altri problemi di pianificazione. Alcuni lavori rilevanti sono i seguenti:

In (Dodaro and Maratea 2017) viene affrontato il cosiddetto *Nurse Scheduling Problem* (NSP) che consiste nel generare un programma di giorni di lavoro e di riposo per gli infermieri impiegati nei reparti ospedalieri. Una soluzione adeguata a questo problema è fondamentale per garantire l'alto livello di qualità dell'assistenza sanitaria, per migliorare il grado di soddisfazione degli infermieri e l'assunzione di personale qualificato. L'analisi sperimentale è stata effettuata su dati reali forniti da un ospedale italiano. Gli stessi autori hanno proposto un'ulteriore soluzione a questo problema in (Alviano et al. 2017) dove vengono identificate e affrontate alcune debolezze intrinseche della codifica ASP originale. La nuova codifica è progettata tenendo conto sia delle proprietà intrinseche del NSP che dei dettagli interni dei solutori ASP, come i propagatori di vincoli di cardinalità e peso. Nelle unità ospedaliere che operano 24 ore su 24, 7 giorni su 7, è frequente che una pianificazione non possa essere rispettata a causa di improvvise assenze degli infermieri. Il problema è stato affrontato in (Alviano et al. 2018) che ha come obiettivo quello di determinare una nuova pianificazione che deve essere il più simile possibile a quella originale, il che in pratica significa che il numero di modifiche deve essere ridotto al minimo.

In (Dodaro et al. 2021a) viene affrontato il problema per la schedulazione dei trattamenti chemioterapici in una clinica oncologica. La soluzione deve soddisfare diversi requisiti quali la ciclicità dei piani di trattamento chemioterapico, il mantenimento di un numero costante di pazienti e la disponibilità di risorse, ad esempio il tempo di trattamento, la disponibilità degli infermieri e i farmaci. Allo stesso tempo, è della massima importanza realizzare un programma soddisfacente per ottenere i migliori esiti sanitari. In questo lavoro viene usata una prima istanza specifica del problema che è impiegata nell'Ospedale San Martino di Genova (Italia), e successivamente, si arricchisce il problema e la relativa codifica ASP considerando ulteriori caratteristiche spesso impiegate in altri ospedali, auspicabili anche a S. Martino.

In (Ricca et al. 2012), viene proposta una soluzione per il problema del team building che consiste nella corretta allocazione del personale disponibile per servire le navi in arrivo, un compito gestionale cruciale per le società operanti in un porto marittimo. I team devono essere organizzati con cura per soddisfare diversi vincoli, come l'assegnazione di dipendenti con competenze adeguate, un'equa distribuzione del carico di lavoro e il ricambio dei ruoli pesanti/pericolosi. La soluzione proposta è attualmente sfruttata nel porto di Gioia Tauro, il più grande terminal di trasbordo della costa mediterranea, da ICO BLG, società specializzata nella logistica automobilistica.

## Capitolo 9

### Conclusioni e lavori futuri

In questa tesi è stato affrontato il problema della pianificazione e della ripianificazione degli interventi chirurgici nelle sale operatorie.

Le motivazioni sono chiare: le sale operatorie sono una risorsa fondamentale all'interno di un ospedale, perciò è di estrema importanza saperle sfruttare nel miglior modo possibile con delle pianificazioni elaborate opportunamente. Inoltre, bisogna essere in grado di reagire ad eventuali imprevisti che causano l'impossibilità di portare a termine una pianificazione calcolata a priori e quindi sostituirla attuando una ripianificazione.

In questa tesi, partendo da soluzioni esistenti, è stata sviluppata una soluzione ASP adattata al caso specifico dell'ASL 1 Liguria. Quindi, sono stati effettuati dei test facendo riferimento alla settimana dal 04/03/2019 al 10/03/2019, su un orizzonte di pianificazione di 5 giorni lavorativi.

Il blocco ospedaliero dell'ASL 1 è suddiviso in tre sedi indipendenti tra loro, perciò i test sono stati effettuati separatamente per ciascuna di esse. Quest'approccio ha permesso di alleggerire il carico computazionale e di considerare differenti scenari e fare valutazioni differenti in base alla sede stessa.

Per quanto riguarda la pianificazione, si è riusciti a ricavare con successo quella originale dell'ASL e dopodiché sono state effettuate delle ottimizzazioni a riguardo, considerando prenotazioni aggiuntive oltre a quelle realmente assegnate, in modo tale da valutare la possibilità di sfruttare meglio le sale e i letti a disposizione e in particolare la possibilità di effettuare una pianificazione totalmente nuova o una che avesse come base di partenza l'assegnazione originale proposta.

In relazione alla ripianificazione, sono stati considerati tre differenti scenari e complessivamente sono stati raggiunti dei buoni risultati, riuscendo a riassegnare, in alcuni casi, addirittura tutti i pazienti soggetti al disagio derivato da un dato imprevisto.

Sulla base dei risultati ottenuti, si evince che l'ASP, grazie anche alla presenza di solutori efficienti come CLINGO, è un valido strumento per trovare una soluzione al problema della pianificazione esposto in questa tesi, permettendo di ottenere dei risultati validi ed efficaci con buone tempistiche per un utilizzo pratico.

Infine, possibili lavori futuri riguardano lo sviluppo di un'applicazione web specifica per il caso di studio trattato che, attraverso un'interfaccia grafica intuitiva, possa essere utilizzata anche da parte degli operatori della struttura ospedaliera imperiese, i quali non necessariamente possiedono delle competenze informatiche avanzate. In questo modo sarebbe possibile visualizzare agevolmente la pianificazione degli interventi nelle diverse sale per ogni giorno nei diversi orari e i posti letto occupati nei vari reparti.

# Elenco delle tabelle

3.1	Esempio di MSS	10
6.1	MSS Bordighera	28
6.2	Pianificazione ASL Bordighera: occupazione sale operatorie	29
6.3	Bordighera scenario 1: occupazione media sale operatorie	29
6.4	Bordighera scenario 1: valori medi totali sale operatorie	30
6.5	Bordighera scenario 2: occupazione media sale operatorie	30
6.6	Bordighera scenario 2: valori medi totali sale operatorie	31
6.7	MSS Sanremo	32
6.8	Sanremo: disponibilità giornaliera dei letti per ogni reparto	33
6.9	Pianificazione ASL Sanremo: occupazione sale operatorie	33
6.10	Pianificazione ASL Sanremo: occupazione posti letto	33
6.11	Sanremo "Scenario1 150": occupazione media sale operatorie	34
6.12	Sanremo "Scenario1 150": valori medi totali sale operatorie	34
6.13	Sanremo "Scenario1 150": occupazione media posti letto	35
6.14	Sanremo "Scenario1 150": valori medi totali posti letto	35
6.15	Sanremo "Scenario1 250": occupazione media sale operatorie	36
6.16	Sanremo "Scenario1 250": valori medi totali sale operatorie	36
6.17	Sanremo "Scenario1 250": occupazione media posti letto	37
6.18	Sanremo "Scenario1 250": valori medi totali posti letto	37
6.19	Sanremo "Scenario2 250": occupazione media sale operatorie	39
6.20	Sanremo "Scenario1 250": valori medi totali sale operatorie	39
6.21	Sanremo "Scenario2 250": occupazione media posti letto	40
6.22	Sanremo "Scenario2 250": valori medi totali posti letto	40
6.23	MSS Imperia	42
6.24	Imperia: disponibilità giornaliera dei letti per ogni reparto	43
6.25	Pianificazione ASL Imperia: occupazione sale operatorie	43
6.26	Pianificazione ASL Imperia: occupazione posti letto	43
6.27	Imperia 10s: occupazione media sale operatorie	44
6.28	Imperia 10s: valori medi totali sale operatorie	44
6.29	Imperia 10s: occupazione media posti letto	45

6.30	Imperia 10s: valori medi totali posti letto . . . . .	45
6.31	Imperia 100s: occupazione media sale operatorie . . . . .	46
6.32	Imperia 100s: valori medi totali sale operatorie . . . . .	46
6.33	Imperia 100s: occupazione media posti letto . . . . .	46
6.34	Imperia 100s: valori medi totali posti letto . . . . .	46
6.35	Imperia scenario 2: occupazione media sale operatorie . . . . .	48
6.36	Imperia scenario 2: valori medi totali sale operatorie . . . . .	48
6.37	Imperia scenario 2: occupazione media posti letto . . . . .	49
6.38	Imperia scenario 2: valori medi totali posti letto . . . . .	49
7.1	Risultati ripianificazione scenario 1 . . . . .	59
7.2	Risultati ripianificazione scenario 2 . . . . .	60
7.3	Risultati ripianificazione scenario 3 . . . . .	60

# Elenco delle figure

4.1	Metodologia di risoluzione . . . . .	17
6.1	Bordighera: confronto prenotazioni scenari di ottimizzazione . . . . .	31
6.2	Sanremo: confronto prenotazioni scenario1 150% e 250% . . . . .	38
6.3	Sanremo: confronto letti scenario1 150% e 250% . . . . .	38
6.4	Sanremo: confronto prenotazioni scenari 250% . . . . .	41
6.5	Sanremo: confronto letti scenari 250% . . . . .	41
6.6	Imperia: confronto prenotazioni scenario1 10s e 100s . . . . .	47
6.7	Imperia: confronto letti scenario1 10s e 100s . . . . .	47
6.8	Imperia: confronto prenotazioni scenario1 e scenario2 . . . . .	50
6.9	Imperia: confronto letti scenario1 e scenario2 . . . . .	50

# Bibliografia

- Abedini, A., Ye, H., and Li, W. (2016). Operating room planning under surgery type and priority constraints. *Procedia Manufacturing*, 5:15–25.
- Alviano, M., Amendola, G., Dodaro, C., Leone, N., Maratea, M., and Ricca, F. (2019). Evaluation of disjunctive programs in WASP. In Balduccini, M., Lierler, Y., and Woltran, S., editors, *LPNMR*, volume 11481 of *LNCS*, pages 241–255. Springer.
- Alviano, M., Dodaro, C., and Maratea, M. (2017). An advanced answer set programming encoding for nurse scheduling. In *AI\*IA*, volume 10640 of *LNCS*, pages 468–482. Springer.
- Alviano, M., Dodaro, C., and Maratea, M. (2018). Nurse (re)scheduling via answer set programming. *Intelligenza Artificiale*, 12(2):109–124.
- Aringhieri, R., Landa, P., Soriano, P., Tànfani, E., and Testi, A. (2015). A two level metaheuristic for the operating room scheduling and assignment problem. *Computers & Operations Research*, 54:21–34.
- Brewka, G., Eiter, T., and Truszczynski, M. (2011). Answer set programming at a glance. *Communications of the ACM*, 54(12):92–103.
- Buccafurri, F., Leone, N., and Rullo, P. (2000). Enhancing disjunctive datalog by constraints. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 12(5):845–860.
- Dodaro, C., Galatà, G., Grioni, A., Maratea, M., Mochi, M., and Porro, I. (2021a). An asp-based solution to the chemotherapy treatment scheduling problem. *Theory and Practice of Logic Programming*, 21(6):835–851. Publisher Copyright: © 2021 The Author(s). Published by Cambridge University Press.
- Dodaro, C., Galatà, G., Khan, M. K., Maratea, M., and Porro, I. (2019). An ASP-based solution for operating room scheduling with beds management. In *RuleML+RR*, volume 11784 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 67–81. Springer.

- Dodaro, C., Galatà, G., Khan, M. K., Maratea, M., and Porro, I. (2021b). Operating room (re)scheduling with bed management via asp. *Theory and Practice of Logic Programming*, pages 1–25.
- Dodaro, C., Galatà, G., Khan, M. K., Maratea, M., and Porro, I. (2021c). Solving operating room scheduling problems with surgical teams via answer set programming. In Matteo, B. and Stefania, B., editors, *AIXIA 2020 – Advances in Artificial Intelligence*, pages 204–220, Cham. Springer International Publishing.
- Dodaro, C., Galatà, G., Maratea, M., and Porro, I. (2018). Operating room scheduling via answer set programming. In *AI\*IA*, volume 11298 of *LNCS*, pages 445–459. Springer.
- Dodaro, C. and Maratea, M. (2017). Nurse scheduling via answer set programming. In *LPNMR*, volume 10377 of *LNCS*, pages 301–307. Springer.
- Faber, W., Pfeifer, G., and Leone, N. (2011). Semantics and complexity of recursive aggregates in answer set programming. *Artif. Intell.*, 175(1):278–298.
- Galatà, G., Maratea, M., Mochi, M., Morozan, V., and Porro, I. (2021). An asp-based solution to the operating room scheduling with care units. In Benedictis, R. D., Maratea, M., Micheli, A., Scala, E., Serina, I., Vallati, M., and Umbrico, A., editors, *Proceedings of the 9th Italian workshop on Planning and Scheduling (IPS'21) and the 28th International Workshop on "Experimental Evaluation of Algorithms for Solving Problems with Combinatorial Explosion" (RCRA'21) with CEUR-WS co-located with 20th International Conference of the Italian Association for Artificial Intelligence (AIXIA 2021), Milan, Italy (virtual), November 29th-30th, 2021*, volume 3065 of *CEUR Workshop Proceedings*. CEUR-WS.org.
- Gebser, M., Kaminski, R., Kaufmann, B., Ostrowski, M., Schaub, T., and Wanko, P. (2016). Theory solving made easy with clingo 5. In *ICLP (Technical Communications). OASICS*, volume 52, pages 2:1–2:15.
- Gebser, M., Maratea, M., and Ricca, F. (2017). The design of the seventh answer set programming competition. In Balduccini, M. and Janhunen, T., editors, *LPNMR*, volume 10377 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 3–9. Springer.
- Gebser, M., Maratea, M., and Ricca, F. (2020). The seventh answer set programming competition: Design and results. *Theory and Practice of Logic Programming*, 20(2):176–204.
- Landa, P., Aringhieri, R., Soriano, P., Tànfani, E., and Testi, A. (2016). A hybrid optimization algorithm for surgeries scheduling. *Operations Research for Health Care*, 8:103–114.

- Macario, A. (2010). What does one minute of operating room time cost? *Journal of Clinical Anesthesia*, 22(4):233–236.
- Meskens, N., Duvivier, D., and Hanset, A. (2013). Multi-objective operating room scheduling considering desiderata of the surgical team. *Decis. Support Syst.*, 55(2):650–659.
- Molina-Pariente, J. M., Hans, E. W., Framinan, J. M., and Gomez-Cia, T. (2015). New heuristics for planning operating rooms. *Computers & Industrial Engineering*, 90:429–443.
- Ricca, F., Grasso, G., Alviano, M., Manna, M., Lio, V., Iiritano, S., and Leone, N. (2012). Team-building with answer set programming in the gioia-tauro seaport. *Theory Pract. Log. Program.*, 12(3):361–381.
- Zhang, J., Dridi, M., and Moudni, A. E. (2017). A stochastic shortest-path mdp model with dead ends for operating rooms planning. In *2017 23rd International Conference on Automation and Computing (ICAC)*, pages 1–6.

# Ringraziamenti

Desidero ringraziare il prof. Marco Maratea per la fiducia che ha avuto nei miei confronti e per il supporto fornito anche a distanza per la stesura di questa tesi. Un grazie al Dott. Giuseppe Galatà e al Dott. Marco Mochi che hanno seguito pazientemente lo sviluppo della tesi e mi hanno fornito preziosi suggerimenti.

Un ringraziamento particolare a mia madre e mio padre, il mio punto di riferimento più grande, perché mi sono sempre stati accanto. Grazie perché, con il vostro sostegno e aiuto durante questi anni, mi avete permesso di raggiungere questo traguardo.

Un immenso grazie anche a mia sorella Ilenia: hai sempre creduto in me, sei sempre stata presente e mi hai sempre supportato come solo una sorella maggiore sa fare, sei insostituibile!

Vorrei ringraziare anche i miei compagni di università che in questi anni hanno condiviso con me momenti di grande entusiasmo e divertimento ma anche le paranoie e notti passate a studiare per gli esami.

Un ringraziamento sincero va in particolare a Luca e Federico, i due compagni di corso migliori possibili. Grazie ad Elisa per gli innumerevoli progetti e lo studio svolto per la tesi triennale. Grazie a Giorgio, il miglior tecnico di Docker e per aver condiviso la vittoria al nostro primo hackathon. Grazie a Camilla per le pazze serate a Cogoleto. Grazie a Tom, il mio primo amico ligure quando sono arrivato a Genova.

Grazie anche ai miei coinquilini, in particolare Sara per tutti i momenti di gioia e allegria che abbiamo vissuto durante la nostra convivenza.

Grazie, perché gli anni passati con voi rimarranno per sempre nei miei ricordi.

Infine ringrazio Alessandro, Alessio e Luca: gli amici che ci sono sempre stati.