

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI  
MILANO-BICOCCA

DECISION MODELS  
FINAL PROJECT

---

# Hospital Bed Optimization

---

*Authors:*

Giulia Chiaretti - 800928 - g.chiaretti@campus.unimib.it  
Federica Fiorentini - 807124 - f.fiorentini1@campus.unimib.it

July 13, 2019



## Abstract

Il Charity Hospital è un centro ospedaliero il cui obiettivo è quello di fornire un servizio di alta qualità ai propri pazienti in termini di ricoveri e cura post-operatorio. Lo scopo di questo progetto, quindi, consiste nel cercare di modificare la policy dell'ospedale per migliorare ancor di più le prestazioni. L'analisi, perciò, consiste nella creazione di due procedimenti euristici costruiti ad hoc per fornire delle proposte data-driven sulle informazioni a disposizione. L'obiettivo è capire quale sia la soluzione migliore per riuscire a soddisfare la richiesta dei medici di avere i propri pazienti ricoverati nel reparto stesso e non altrove. In particolare, sono stati sviluppati due algoritmi con il linguaggio R che vanno a modificare rispettivamente la policy riguardante il tempo di attesa e il numero di letti presenti nel reparto, basandosi su dati riguardanti il flusso dei pazienti nel reparto durante il 2015.

Dai risultati si evince che il tempo di attesa medio è di gran lunga inferiore rispetto alla policy del reparto. Secondo l'analisi, inoltre, l'aggiunta di soli 4 letti nel reparto di medicina interna può risolvere le esigenze dei medici.

Si potrebbero ottenere dei risultati più precisi integrando i dati attualmente a disposizione con ulteriori informazioni riguardo, ad esempio, l'ipotetico costo di un letto. Un altro possibile miglioramento potrebbe essere l'applicazione di algoritmi di ottimizzazione o euristici con il vincolo, però, della presenza di ulteriori e specifiche informazioni.

## 1 Introduction

Il Charity Hospital è un centro ospedaliero che mira ad offrire un servizio di qualità ai pazienti in termini di interventi chirurgici, ricoveri e, soprattutto, cura post-operatoria. Il Charity Hospital riesce a perseguire al meglio la sua mission tanto da aver ricevuto il premio di “Best Hospital for Internal Medicine”, riconoscimento molto prestigioso che attesta l'attenzione che l'ospedale ha nell'assistere i suoi pazienti. Tuttavia, il team di gestione del reparto di medicina interna desidera migliorare ancora di più le prestazioni del reparto ottimizzando la gestione dei pazienti tra i 19 letti che si hanno a disposizione. Uno dei punti di forza del reparto, oltre alla sua equipe di medici, è la policy che adotta. Quest'ultima si basa su tre principi fondamentali per l'ospedale:

- I 19 letti a disposizione nel reparto di medicina interna sono dedicati principalmente alla degenza post-operatoria dei pazienti interni al reparto, ma possono accogliere anche pazienti provenienti da altri reparti;
- Il tempo d'attesa tra la fine dell'operazione di ogni paziente e la sua assegnazione ad un letto disponibile non deve superare i 60 minuti;
- 

I pazienti di medicina interna devono rimanere nello stesso reparto per assicurare un'ottima qualità delle cure e per ottimizzare il tempo di lavoro dei medici interni in modo che non debbano impiegare tempo aggiuntivo per spostarsi in altri reparti, cosa che causerebbe anche un turbamento degli stessi dottori. Tuttavia, il capo dell'ospedale dice che è disposto a modificare questa policy se questo porta a prestazioni migliori dell'ospedale. In particolare, i medici del reparto di Medicina Interna vorrebbero, al fine di migliorare ancor di più il loro operato, che i loro pazienti rimangano in degenza nel loro reparto.

L'obiettivo di questo progetto è proprio fornire delle proposte data-driven sulla base delle informazioni che si hanno a disposizione. Per riuscire in questo obiettivo, sono stati utilizzati dei procedimenti euristici costruiti ad hoc che permettono di capire se e in caso quali delle 3 caratteristiche della policy dovrebbero essere modificate: si indaga, al fine di soddisfare le richieste dei medici, che sono il punto di forza dell'ospedale, se conviene aumentare il numero di letti o eliminare la policy riguardo il tempo di attesa post-operazione di 60 minuti.

## 2 Datasets

Ai fini dell'analisi è stato utilizzato il dataset "Charity Hospital Department Bed Optimization data.xlsx" che contiene i seguenti tre tab:

- Section: dataset contenente, per ogni reparto dell'ospedale, identificato da un codice, il numero di letti a disposizione. In questo caso sono disponibili dati solamente sul reparto 8000595 (Internal Medicine) che ha a disposizione 19 letti;

- Historical Info: dataset riferito ai giorni dal 01/01/2015 al 06/12/2015 che contiene, il numero di letti occupati a mezzanotte di ogni giorno nel reparto di Internal Medicine;
- Patients: dataset che contiene informazioni relative ai 4177 pazienti che hanno subito un intervento nel reparto del Charity Hospital tra il 01/01/2015 e il 01/12/2015. In particolare, il dataset contiene 8 variabili:
  - PatientID: codice univoco identificativo del paziente;
  - SurgeryType: variabile categorica che indica il tipo di intervento a cui il paziente deve sottoporsi. Questo attributo assume due modalità: “Internal Medicine” o “Others”;
  - ArrivalDate: variabile che indica la data di arrivo del paziente in ospedale;
  - ArrivalTime: variabile che indica l’ora di arrivo del paziente in ospedale;
  - Section: variabile categorica che indica il reparto di appartenenza del letto assegnato al paziente . Questo attributo assume due modalità: “8000595”, codice identificativo del reparto di Internal Medicine, o “other”, che indica che il paziente viene ricoverato in un altro reparto;
  - SurgeryTime (minute): variabile numerica che indica la durata in minuti dell’intervento a cui è stato sottoposto il paziente;
  - POSTANESTHESIA CARE UNIT Time (min): variabile numerica che indica la durata in minuti di degenza nel letto nel periodo post operatorio;
  - LengthofStay(days): variabile numeric ache indica i giorni di degenza del paziente, quindi la durata in giorni del ricovero.

### 3 The Methodological Approach

Per risolvere il problema sopra presentato, è stato utilizzato un approccio totalmente empirico basato su procedimenti euristici poiché i dati a disposizione rendevano difficoltoso l’utilizzo di un modello specifico di ottimizzazione. Nello specifico, è stata effettuata un’attività di pre-processing, un’analisi delle

statistiche descrittive di base e uno sviluppo di tre algoritmi che verranno di seguito descritti.

#### DATA PRE-PROCESSING

Durante l'attività di pre-processing riguardante i dati grezzi utilizzati, sono state effettuate diverse modifiche al dataset:

- Alla variabile *ArrivalDate* è stato impostato il type "Date";
- Le variabili *ArrivalTime* e *LengthOfStay* sono state trasformate in minuti per renderle confrontabili con le altre variabili riguardanti la durata espresse in minuti;
- E' stata creata una nuova variabile *Hospitalizationmin* relativa ai "minuti totali di degenza nel letto del paziente" e data dalla somma dei minuti di cura post operazione e dei minuti totali di degenza nel letto ospedaliero.

#### ASSUMPTION

Per procedere con lo sviluppo degli algoritmi, inoltre, è necessario effettuare delle assunzioni poiché, in alcuni casi, il significato delle variabili potrebbe essere dubbio:

- L'orario di arrivo in ospedale del paziente (*ArrivalDate*, *ArrivalTime*) coincide esattamente con l'orario di inizio dell'operazione;
- Alla scadenza del tempo dell'operazione (*surgery time*) inizia immediatamente il tempo di attesa;
- Alla scadenza del tempo di degenza totale (*Hospitalizationmin*), il letto viene reso immediatamente disponibile per un altro paziente.

#### DATA EXPLORATION

La fase di data exploration è stata caratterizzata principalmente da tre attività:



Figure 1: Serie storica riguardo il numero dei letti occupati nel 2015

- E' stata visualizzata una serie storica visualizzata in *figura 1*, che riporta, per ogni giorno dell'anno 2015, il numero di letti occupati nel reparto di medicina interna; da questo grafico, si evince che il numero di letti varia di giorno in giorno e questo è dovuto ai repentini cambiamenti dei pazienti che ogni giorno arrivano e lasciano il reparto. Tuttavia, è possibile notare che, in media, il numero di letti occupati è pari a 10.
- Tramite l'utilizzo dell'istogramma rappresentato in *figura 2*, è stata analizzata la distribuzione della variabile *LengthOfStay* ed è possibile notare dal grafico che nel reparto di medicina interna la lunghezza del periodo di degenza è principalmente di 0, 1 o 2 giorni. Ciò significa che i letti a disposizione dei pazienti nei letti a disposizione del reparto avviene molto frequentemente;
- Infine, è stata calcolata la tabella di frequenza differenziando i pazienti secondo gli attributi *SurgeryType* e *Section*. Sono stati identificati, infatti, 29 pazienti che hanno subito un intervento in un altro reparto e sono stati ricoverati in un reparto differente da Medicina Interna. Quest'ultime osservazioni sono state rimosse dal dataset utilizzato perché non di interesse all'analisi. Sono importanti, invece, i pazienti che vengono operati in altri reparti ma vengono ricoverati in Medicina Interna.

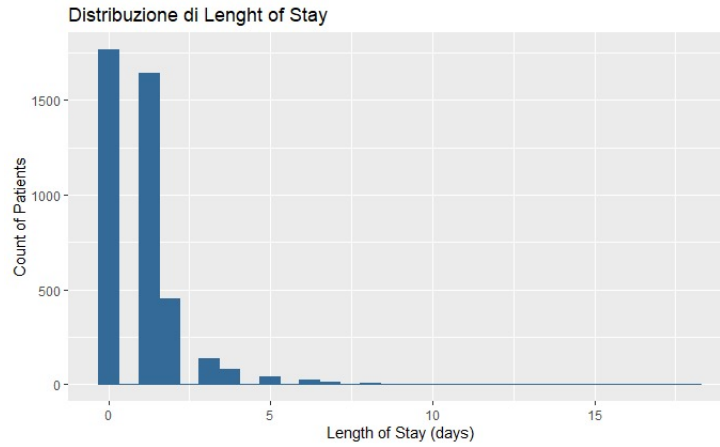


Figure 2: Istogramma relativo alla distribuzione della variabile LengthOfStay

Si procede con lo sviluppo degli algoritmi utilizzando, in definitiva, un dataset composto da 8 variabili e 4148 osservazioni.

#### ALGORITHM

Per quanto riguarda sia l'analisi iniziale, sia lo sviluppo vero e proprio dei due algoritmi, inizialmente vengono creati dei dataframe di supporto dati da:

- *bedlist*: è un dataframe composto da 19 righe (una per ogni letto), in cui vengono inserite e aggiornate ad ogni iterazione dell'algoritmo le seguenti informazioni: number of bed, date, arrival time, surgery time e remaining minutes.
- *waitingList, withoutbed*: dataframe inizialmente vuoti avente come attributi gli stessi del dataset *Patients*;
- *occupiedbeds*: eredita la struttura dal dataset iniziale *Historical Info*, mantenendo solamente la prima riga, ovvero le informazioni sui letti occupati in data 01/01/2015.

Inizialmente, tramite l'algoritmo, di cui si riporta lo pseudocode in *figura 3*, è stato analizzato il flusso di pazienti attuale, ovvero secondo le condizioni di policy correnti. L'obiettivo di questa analisi è ottenere informazioni riguardanti la situazione riferita al 2015 dell'ospedale, per poi confrontare i

```

1  ALGORITMO 1
2
3  ArrivalDate="15/01/2015"
4  i=1
5  newday=F
6  hour=0
7  while (i==1) {
8      if (ArrivalDate is the same of the previous one) then {
9          newday=F
10         else then
11             newday=T}
12     hour=incrementa l'ora di uno
13     if (newday) then {
14         restart from hour=0}
15     if (newday) then {
16         add a record to @[occupiedBed] with the number of occupied beds at 12.00 am}
17     for (j in 1:19) then {
18         decrease @[bed]$RemainingMinutesInBed by one minute}
19     if (@[waitingList] not empty) then {
20         decrease surgeryTime of patients in @[waitingList] by 1 minute
21         #when surgeryTime becomes negative, it indicates the waitingTime}
22     select patiets arrived at ArrivalDate & Hour
23     remove them from @[Patients]
24     add them to @[WaitingList]
25     order @[WaitingList] by ArrivalDate
26     for (each patient in @[WaitingList])
27         if (one bed in @[Bed] is free (RemainingMinutes<=0)) then {
28             assign it to the patient updating @[Bed]$RemainingMinutes with MinInBed of the patient,
29             remove the patient from @[WaitingList]}
30         else (no bed free and waitingTime > 59) then { #waitingTime >59 == surgeryTime < -59
31             put the patient in @[outOfBed]
32             remove the patient from @[WaitingList]}
33     when @[Patient] has no row #which means that the loop analized all day and all patients)
34     break
35 }

```

Figure 3: Pseudocode relativo all’analisi

risultati con gli esiti dati della modifica delle policy.

L’algoritmo creato ad hoc per analizzare la situazione dell’ospedale, ripercorre il dataset *Patients* con un timeframe di un minuto. Il paziente non appena arriva in ospedale viene inserito nella *waitinglist* e, da questo momento, inizia immediatamente l’operazione. Una volta terminato il tempo di operazione necessario per l’intervento, incomincia il tempo di attesa. Se è disponibile un letto entro 60 minuti, il paziente viene spostato nella lista *occupiedbeds*, altrimenti nella lista *withoutbed*. Ogni minuto, in particolare, viene eseguito un upsert delle informazioni sui letti nella lista *bedlist* in modo tale da monitorare la disponibilità dei letti.

Successivamente, sono stati sviluppati due procedimenti totalmente euristici in cui viene analizzata la struttura del flusso dei pazienti durante il 2015 modificando, però, le condizioni attuali del reparto per poi effettuare un’analisi decisionale.

Più nello specifico, di seguito l’analisi dei due algoritmi.

## First Algorithm



Il primo algoritmo tiene conto della disponibilità di soli 19 letti in medicina interna e del vincolo di tenere i pazienti operati in medicina interna nello stesso reparto, ma si rinuncia al vincolo che il tempo di attesa sia minore di 60 minuti; in questo caso, vengono considerate solamente le osservazioni per cui la variabile *SurgeryType* assume l'attributo *Internal Medicine* poiché l'obiettivo è accogliere in modo efficace solamente i pazienti che subiscono in intervento nel reparto in analisi.

A tal proposito, non viene impostato nessun vincolo per quanto riguarda il tempo di attesa per verificare se il reparto di Medicina Interna riesce ad accogliere tutti i pazienti nei 19 letti.

Come nell'analisi precedente, il primo algoritmo creato ripercorre il dataset *Patients* con un timeframe di un minuto. Il paziente non appena arriva in ospedale viene inserito nella *waitinglist* e, da questo momento, inizia immediatamente l'operazione. Una volta terminato il tempo di operazione necessario per l'intervento, incomincia il tempo di attesa. Successivamente, tramite un *upsert*, se è presente un letto disponibile nella lista *bedlist*, viene inserito in quest'ultima, memorizzando, in particolare, il tempo di attesa. In questo caso, anche se il tempo di attesa supera i 60 minuti (come da policy dell'ospedale), il paziente continua ad attendere finché non si libera un letto.

## Second Algorithm

Il secondo algoritmo, invece, conserva la rigidità della policy sul tempo d'attesa e la clausola di non spostare i pazienti in altri reparti; la differenza è che, in questo caso, è possibile aggiungere nuovi letti al reparto. L'obiettivo di questo procedimento è di calcolare il numero ottimale di letti di cui avrebbe bisogno il reparto di Internal Medicine per essere "autosufficiente" e per rispettare la regola dei 60 minuti di attesa.

La struttura dell'algoritmo è simile a quello precedente, con la differenza che, se il tempo di attesa del paziente supera i 60 minuti, viene aggiunto un nuovo letto alla lista *Beds*, per accogliere il paziente nel proprio reparto e rispettando la policy.

Tempo medio di attesa	Pazienti ricoverati in altri reparti
2.276939	92

Figure 4: Risultati analisi iniziale

Tempo medio di attesa	Pazienti con un tempo d'attesa maggiore di 60 minuti
5.377535	62

Figure 5: Risultati primo algoritmo

## 4 Results and Evaluation

Dall'analisi iniziale della situazione attuale del Charity Hospital, come si nota in *figura 4*, il tempo medio di attesa risulta essere poco più di due minuti, per precisione 2.37 minuti. Inoltre, si evince che 92 pazienti sono stati operati nel reparto di Medicina Interna ma sono stati ricoverati in degenza in altri reparti. L'obiettivo dell'analisi, quindi, è quello di ridurre il numero di pazienti ricoverati in altri reparti.

Nel primo algoritmo, quindi, non si rispetta la policy riguardo il tempo di attesa ma si cerca di ricoverare tutti i pazienti nel reparto di medicina interna. Il tempo medio di attesa, quindi, pressoché raddoppia diventando pari a 5.37 minuti, come si può vedere in *figura 5*. In particolare, 62 pazienti attendono un tempo maggiore di 60 minuti (policy ospedaliera) e, il tempo massimo di attesa risulta essere pari a 611 minuti.

L'obiettivo della terza analisi, invece, è trovare il numero ottimale di letti affinché il reparto di Medicina Interna diventi autosufficiente e rispetti la policy ospedaliera sul tempo di attesa. Come si evince dalla *figura 6*, in questo caso il tempo medio di attesa si riduce notevolmente a 0.59 minuti ma c'è la necessità di acquistare 4 letti in più, in quanto il numero ottimale di letti risulta essere 23.

Tempo medio di attesa	Numero di letti necessari per Internal Medicine
0.5901774	23

Figure 6: Risultati secondo algoritmo

## 5 Discussion

Dalle analisi effettuate tramite i due procedimenti euristici, si evince che il tempo di attesa medio dei pazienti sono abbondantemente inferiori ai 60 minuti, tempo di attesa secondo la policy attuale del Charity Hospital. Quindi, la soluzione sviluppata nel secondo algoritmo che, come analizzato precedentemente, rinuncia al vincolo sul tempo di attesa, dovrebbe essere scartata dall'ospedale poiché non porta ad ulteriori miglioramenti. Il rischio di rivisitare il tempo di policy attuale, infatti, potrebbe solamente peggiorare l'efficacia del reparto di Medicina Interna in quanto potrebbe influenzare la qualità degli interventi e la soddisfazione dei propri pazienti.

Più nello specifico, infatti, rinunciando alla policy riguardo l'attesa post-operatoria, sono 62 i pazienti che attendono il letto di degenza per più di 60 minuti e, in particolare, sono 45 i pazienti che attendono più di 120 minuti, cioè il doppio del tempo previsto dalla policy attuale. Il tempo di attesa medio, infatti, rispetto alla situazione iniziale in cui era 2.27 minuti, raddoppia e diventa 5.37 minuti. Adottando questo tipo di soluzione, in conclusione, potrebbe portare ad un'insoddisfazione da parte dei pazienti dell'ospedale.

Per quanto riguarda il secondo algoritmo sviluppato che mantiene la policy attuale e mira ad calcolare il numero ottimale di letti per rendere il reparto autosufficiente, il risultato può essere soddisfacente. Infatti, il numero di letti necessari al reparto per ospitare tutti i pazienti è 23, solamente 4 letti in più di quelli attualmente presenti.

In definitiva, non è possibile definire la best solution poiché sarebbe necessaria l'integrazione di dati aggiuntivi riguardo, ad esempio, i costi relativi all'acquisto di letti o derivanti dall'insoddisfazione dei pazienti e del personale. Empiricamente, sembrerebbe che la soluzione migliore potrebbe essere quella di acquistare 4 letti in più per rendere autosufficiente il reparto, in modo tale da soddisfare sia la richiesta dei Dottori di "ospitare" i propri pazienti nel reparto di Medicina Interna, sia la policy ospedaliera riguardo il tempo di attesa post-operazione.

Un possibile miglioramento dell'analisi potrebbe essere effettuato tramite lo sviluppo di un problema di **Integer Linear Programming** o di un **algoritmo euristico o metaeuristico**, risolvendo un cosiddetto *"bed management problem with specific focus on bed allocation"*[1]. Entrambe le analisi, però, richiederebbero più informazioni riguardo l'ospedale ed eventuali costi e, per essere ancor più precisi, uno storico di dati più massiccio, riferito a più anni.

## 6 Conclusions

L'obiettivo dell'analisi è stato quello di suggerire una possibile rivisitazione della policy ospedaliera del reparto di Medicina Interna del Charity Hospital. Grazie ai dataset utilizzati e ai procedimenti euristici sviluppati ad hoc per effettuare un'attività di data driven, è stato possibile inizialmente analizzare il flusso dei pazienti attuale e, successivamente, modificare le condizioni della policy tramite lo sviluppo di due algoritmi.

In particolare, il primo algoritmo tiene conto della disponibilità attuale di soli 19 letti in medicina interna e del vincolo di tenere i pazienti operati nel proprio reparto in degenza nello stesso, ma rinuncia al vincolo riguardo il tempo di attesa. Il secondo algoritmo, invece, conserva la rigidità sulla policy attuale sia riguardo il tempo di attesa sia riguardo la clausola di non spostare i pazienti del proprio reparto, ma considera l'opportunità di aggiungere nuovi letti.

Dall'analisi si evince che il tempo di attesa è abbondantemente inferiore alla policy ospedaliera ma, imponendo il vincolo riguardo l'autosufficienza del reparto, l'attesa aumenterebbe notevolmente.

Le soluzioni possibili da proporre al Charity Hospital potrebbero essere, quindi, due: o rinunciare alla policy riguardo il tempo di attesa, oppure acquistare nuovi letti per il proprio reparto in modo tale da essere autosufficiente e da rispettare le policy attuali.

Probabilmente, con l'integrazione di dati riguardo il costo dell'aggiunta dei letti e, più in generale, riguardo i costi derivanti dall'insoddisfazione dei propri pazienti e del proprio personale, si potrebbe verificare quale delle due soluzioni risulterebbe più efficace e permetterebbe di ottenere una qualità del servizio ospedaliero migliore.

## References

- [1] C. Bloem, "*Improving hospital bed utilisation through simulation and optimisation in South African Public Hospitals*". [2]