

MODELLI DI
OTTIMIZZAZIONE PER
LA PIANIFICAZIONE
DELLE INFUSIONI
CHEMIOTERAPICHE IN
UN DAY-HOSPITAL
ONCOEMATOLOGICO

SOMMARIO

Con l'invecchiamento della popolazione il rischio di cancro è sempre più alto, facendo aumentare la domanda per le cure in questo settore. Con il crescere dei malati non c'è stato un altrettanto aumento di finanziamenti al sistema sanitario, è quindi necessario aumentare l'efficienza delle strutture: offrire cure a un maggior numero di pazienti senza aumentare i costi nella stessa proporzione.

Il processo di cura dei pazienti presenta vari passi che sono connessi tra loro: analisi del sangue, visita, preparazione e somministrazione del farmaco. Il problema di organizzazione è reso più complicato dalla dipendenza dei processi gli uni agli altri, comunque può essere diviso in due sotto-problemi: di pianificazione, che si occupa assegnare le risorse (stanze, personale medico, preparazione dei farmaci, letti e poltrone ecc.) e di operatività, che pianifica gli appuntamenti dei pazienti in base alle loro esigenze.

In questo lavoro ci occuperemo della seconda fase creando una serie di modelli di ottimizzazione che assegnano ad ogni paziente giorno, orario di ingresso per la visita e tempo di inizio e fine dell'infusione. Cerchiamo inoltre di prendere in considerazione indicatori qualitativi, riducendo al minimo la permanenza nel centro e cercando di soddisfare i desideri dei pazienti.

I modelli sono stati testati sui dati reali forniti dall'Ospedale San Martino di Genova riferiti all'anno 2018.

RINGRAZIAMENTI

INDICE

1. Introduzione	7
1.1 Panoramica	7
1.2 Pianificazione nel centro.....	7
1.3 Classificazione dei problemi	8
1.4 Struttura della tesi.....	9
2. Descrizione e Formulazione Matematica del problema	11
2.1 Descrizione.....	11
2.2 Formulazione matematica	12
3. Risultati numerici.....	17
3.1 Pazienti.....	18
3.2 Ospedale	22
3.3 Ottimizzazione.....	26
4. Conclusioni	29
Bibliografia	30
Appendice	32
codice AMPL	32
codice Python.....	42

ELENCO DELLE FIGURE

Grafico 1: distribuzione delle patologie	18
Grafico 2: Tasso pazienti non visitati	18
Grafico 3 di Gantt di 15 pazienti entrati dopo le 13:20 ed usciti alla chiusura, 17:00	20
Grafico 4: occupazione poltrone/letti istanza2 giorno1 (tempo attesa totale 0)	20
Grafico 5: occupazione poltrone/letti istanza12 giorno 4 (tempo attesa totale 102)	21
Grafico 6: totale pazienti visitati ogni settimana per l'intero anno.....	21
Grafico 7: tasso di occupazione dell'ambulatorio assegnato alle patologie GU	22
Grafico 8: tasso di occupazione degli ambulatori assegnati alle patologie PO	23
Grafico 9: Tasso di occupazione degli ambulatori che si occupano di patologie EM	23
Grafico 10: Tasso di occupazione degli ambulatori per patologia	24
Grafico 11 occupazione poltrone nell'arco della giornata, su due giorni presi casualmente	24
Grafico 12: occupazione dei letti sugli stessi giorni considerati nel grafico 11	25
Grafico 13: Tasso occupazione media settimanale dei letti	25
Grafico 14: Tasso occupazione media settimanale delle poltrone	26
Grafico 15: Tasso di miglioramento dopo aver applicato la funzione obiettivo 2 e 3.....	26
Grafico 16: tendenza di miglioramento 2 all'aumentare del numero di pazienti visitati	27
Grafico 17:tendenza di miglioramento 1 all'aumentare del numero di pazienti visitati	27
Grafico 18: Tempo di calcolo dei problemi al variare del numero di pazienti totali.....	28

ELENCO TABELLE

Tabella 1: esempio di assegnazione di una patologia ad un ambulatorio	11
Tabella 2: Lista insiemi utilizzati nel modello	12
Tabella 3: Lista parametri utilizzati nel modello	12
Tabella 4: modifiche di assegnazione degli ambulatori e risultati ottenuti.....	19

1. Introduzione

1.1 PANORAMICA

Il cancro è l'insieme di un grande numero di malattie che ha origine da un qualsiasi organo o tessuto del corpo quando cellule anormali crescono in maniera incontrollata, invadendo parti adiacenti e spargendosi ad altri organi. Con l'avanzare dell'età media della popolazione i casi sono destinati ad aumentare, dai 19 milioni del 2020 a circa 28 milioni nel 2040 (World Health Organization). Il cancro è la seconda causa di morte a livello globale, enumerando 9,6 milioni di morti nel 2018 (World Health Organization 2021). Esso è un grosso fardello che pesa fisicamente, emotivamente ed economicamente su individui, famiglie e sistemi sanitari. In paesi dove i sistemi sanitari sono forti il tasso di sopravvivenza sta salendo sempre più grazie alla prevenzione, a diagnosi tempestive, alla qualità dei trattamenti ed all'assistenza post malattia.

La ricerca operativa ha preso parte all'evoluzione del sistema sanitario da tempo con l'obiettivo di migliorare cure e costi (R. B. Fetter 1965). Ci sono molte pubblicazioni sull'organizzazione delle strutture sanitarie e sulla gestione del flusso di pazienti (Joren Marynissen 2019), ma il processo di cura del cancro è particolare, con aspetti che non sono legati solo alla cura ma anche alla prevenzione (Christina E. Savillea 2019).

I pazienti possono essere sottoposti a trattamenti che durano anche diverse ore, con farmaci specifici, da preparare in maniera adeguata, che hanno effetti collaterali molto marcati rendendo l'assistito molto deperito. La chemioterapia ha quindi bisogno della giusta coordinazione di diversi servizi che devono produrre il giusto trattamento al giusto paziente minimizzando tempi di attesa e costi. È per questo che tali cure sono offerte principalmente in cliniche specializzate.

1.2 PIANIFICAZIONE NEL CENTRO

Il riconoscimento e la cura del cancro sono composti generalmente dai seguenti passi: comparsa dei sintomi, diagnosi e trattamento. In casi fortunati, si riescono a fare diagnosi precoci che scoprono pazienti affetti il prima possibile così da aumentare notevolmente la possibilità di successo delle cure. La comparsa di sintomi è il momento in cui si pensa alla presenza del cancro. Dopo essersi confrontati con il medico si decide di consultare uno specialista con il quale si valuta se siano necessari dei test diagnostici, e si considerano i fattori di rischio per il paziente. La diagnosi avviene in centri specializzati e può avvenire tramite test di laboratorio o per immagini. Una volta che viene accertata la presenza del cancro, il paziente può iniziare la terapia più adatta alla situazione. Per ogni tipo di cancro ci sono specifici trattamenti che possono includere la radioterapia, l'operazione chirurgica e la chemioterapia, tali trattamenti possono essere somministrati in parallelo oppure in sequenza. Nella chemioterapia, un farmaco o una combinazione di farmaci viene

somministrata per attaccare le cellule cancerogene. La somministrazione chemioterapica è organizzata in base a regimenti (Guillaume Lamé 2016), un insieme di cure, in ognuna delle quali vengono fatte delle infusioni endovenose al paziente. Fatto ciò, vi è un tempo specifico senza nuove somministrazioni per poi arrivare dopo dovuti controlli ad una seconda serie di cure, cambiando, per esempio, il dosaggio dei farmaci delle infusioni endovenose.

La somministrazione chemioterapica è complessa, può avvenire per iniezione, infusione o per via orale, il che è solo una parte dell'organizzazione della terapia, ci sono da prendere in considerazione ripetute visite di specialisti, analisi del sangue, preparazioni di farmaci a seconda del regimento, il tutto mette in gioco un gran numero di risorse umane e tecniche.

Tra le risorse umane di grande importanza sono le/gli infermiere/i che si occupano di molte attività: accoglienza del paziente, prendere i segni vitali, prelievo di sangue, preparazione dell'infusione endovenosa e controllo dei segni vitali durante l'infusione stessa, inoltre, indirettamente, schedano anche i pazienti. Gli oncologi visitano i pazienti prima della vera e propria somministrazione per accertarsi della capacità di resistere alla cura, che è altamente debilitante, sono, inoltre, responsabili della prescrizione dei farmaci. A seconda della loro anzianità, possono essere anche impegnati nell'insegnamento o in attività di ricerca, possono inoltre essere categorizzati in dottori a pieno titolo o tirocinanti. Altre risorse sono i farmacisti, che preparano i medicinali per l'infusione, il laboratorio per l'analisi del sangue, che può essere esterno o nella stessa clinica specializzata, addetti alla reception, per l'accoglienza, gli ambulatori dove i dottori visitano i pazienti, letti e poltrone usati durante la chemioterapia per l'iniezione del farmaco.

1.3 CLASSIFICAZIONE DEI PROBLEMI

La pianificazione delle decisioni può essere classificata in strategica, tattica e operativa (Peter J.H. Hulshof 2012). Ognuna affronta i problemi su un diverso livello e sotto diversi aspetti.

La pianificazione strategica si occupa di problemi strutturali, a cosa/chi assegnare stanze e/o ambulatori, e di dimensioni, quanti pazienti possono stare in una stanza o simili. Altri aspetti di natura strategica come la copertura geografica o la possibilità di accesso sono, tendenzialmente, trattati da riviste che affrontano tematiche più ampie legate alla salute. I principali problemi di natura strategica analizzati sono la gestione del personale medico (infermieri e medici) e di poltrone/letti.

La pianificazione tattica si occupa principalmente di assegnare risorse mediche e definire le visite settimanali degli specialisti. Altre decisioni prese in considerazione sono l'organizzazione degli appuntamenti, dove vengono definite le regole da seguire per schedare pazienti (da non confondere con il meccanismo di allocazione di uno specifico

paziente ad uno specifico time-slot, che è una decisione operativa). Sempre in ambito di pianificazione tattica, nel campo farmaceutico, si possono considerare problemi legati alla preparazione di farmaci, per esempio, è necessaria una politica per decidere quali farmaci possono essere preparati in anticipo e quali possono essere preparati solamente quando la presenza del paziente è stata confermata.

Infine, la pianificazione operativa si occupa di assegnare pazienti ad appuntamenti e può essere divisa in due momenti: pianificazione e schedulazione, dove la prima è la selezione del giorno del trattamento e la seconda è la selezione dell'ora di inizio del trattamento nella giornata in cui è stato assegnato. Altro problema della pianificazione operativa è l'assegnazione di un gruppo di pazienti a un infermiere per un giorno specifico oppure l'assegnazione dei pazienti all'infermiere per la durata del loro intero trattamento. Viene, inoltre, studiata l'assegnazione dei turni del personale, per esempio, la schedulazione del reparto infermieristico, definendo quando e per quanto tempo un infermiere debba lavorare.

Le decisioni descritte in precedenza sono prese in base a delle misurazioni delle prestazioni, queste vengono definite tramite diversi tipi di indicatori chiave di prestazione (key performance indicators KPIs). Ci sono quattro categorie di KPI. La prima si focalizza sulle risorse ed è fortemente legata ai costi. La seconda categoria si basa su metriche legate ai pazienti, come per esempio, il progredire del paziente nel suo percorso di guarigione. La terza categoria si concentra su indicatori qualitativi, principalmente di soddisfazione del paziente. La quarta ed ultima categoria ha come focus la preparazione dei farmaci.

Analizzando da vicino le metriche legate ai pazienti la prima tenuta in considerazione è il tempo di attesa del paziente, che può essere soggetto a due ritardi: il primo, dal momento della chiamata e l'appuntamento vero e proprio, il secondo, tempo di attesa, nel giorno del trattamento tra l'ora di schedulazione e l'inizio vero e proprio. Il tempo di attesa può essere diviso a sua volta tra tempo di attesa prima della visita e tempo di attesa prima del trattamento. Indicatori qualitativi sono più difficili da creare, tendenzialmente sono legati ai tempi di attesa o in alcuni studi sono il numero di reclami (Chantal Baril 2016). Anche la soddisfazione dello staff medico viene analizzato, gli straordinari sono un problema importante nella gestione ospedaliera.

1.4 STRUTTURA DELLA TESI

In questo lavoro agiremo su un piano tattico ed operativo in quanto definiamo regole per la schedulazione degli appuntamenti ed assegniamo ai pazienti orario e durata di visita ed infusione. Come KPI abbiamo scelto metriche legate al paziente, cercando di massimizzare il numero di pazienti visitati e di minimizzare il tempo di attesa.

Implementiamo un indicatore di natura qualitativa cercando di massimizzare il numero di preferenze per le poltrone.

Di seguito andiamo a descrivere più in dettaglio il problema che andiamo a trattare, indicando la notazione scelta, il modo di rappresentare i dati e le variabili. Dopo parliamo dei modelli realizzati per risolvere il problema, considerando vincoli e funzioni obiettivo.

Nel terzo capitolo presentiamo i dati forniti dall'ospedale San Martino di Genova, testiamo i modelli su tali dati e commentiamo i risultati. L'ospedale citato al momento ha un'organizzazione ben diversa da quella che si è immaginata: le varie patologie vengono identificate e curate in sedi separate. La tesi vuole anche essere una simulazione di ciò che accadrebbe andando a mettere in comune le risorse offerte dalle varie strutture in un unico centro.

La tesi si conclude con spunti per ulteriori studi e possibili miglioramenti da fare ai modelli di ottimizzazione.

2. Descrizione e Formulazione Matematica del problema

2.1 DESCRIZIONE

Consideriamo il problema dell'organizzazione degli appuntamenti di un insieme di pazienti affetti da diverse tipologie di cancro all'interno di un centro specializzato alla somministrazione della chemioterapia. Agiamo su un orizzonte temporale di una settimana. Il focus del lavoro è la pianificazione degli orari della visita medica, alla quale ogni paziente si deve sottoporre prima della somministrazione della terapia, e la pianificazione dell'orario dell'infusione.

Il problema consiste nell'assegnare P pazienti a T giorni ognuno dei quali è formato da un insieme H di M elementi, che sono i time-slot della giornata. Nel nostro caso il periodo di tempo è quello di una settimana lavorativa, formata da 5 giorni, il centro è chiuso sabato, domenica e durante i festivi, che per semplicità scegliamo di non considerare. L'insieme dei time slot è formato da 54 elementi: il centro è aperto dalle 8 alle 17 (9 ore), abbiamo scelto di prendere "unità" da 10 minuti in quanto le durate di visite ed infusioni ne sono multipli, l'orario delle visite è fino alle 14, indicato con d uguale a 36, mentre le infusioni durano fino alla chiusura. Nel centro ci sono A ambulatori, 6 nel nostro caso, che vengono assegnati ad un insieme di patologie J , questo è un problema di pianificazione tattica e lo consideriamo come risolto, usiamo i dati ricavati da uno studio precedente con il modello di (G. Carello, P. Landa, E. Tànfani, A. Testi, 2022), soluzione che viene assegnata al parametro w_{akt} , dove w è uguale a 1 se nell'ambulatorio a si effettuano visite della patologia k il giorno t . Nella Tabella 1 si vede un esempio di come nell'istanza 39 vengono assegnate le patologie agli ambulatori.

Istanza 39

ambulatorio	Lun	Mar	Mer	Gio	Ven
1	GY	OT	OT	GI	OT
2	GU	MA	MA	MA	GI
3	MA	MA	PO	PO	PO
4	EM	EM	EM	EM	EM
5	EM	EM	EM	EM	EM
6	EM	EM	EM	EM	EM

Tabella 1: esempio di assegnazione di una patologia ad un ambulatorio

Ogni paziente può effettuare la visita solamente in uno degli ambulatori dedicati alla tipologia di cancro di cui soffre, possiamo determinare la patologia attraverso il parametro α_{pk} che assume il valore 1 nel caso in cui la persona p soffra della patologia k . È necessario che visita ed infusione avvengano lo stesso giorno, poiché la visita è propedeutica alla somministrazione della terapia. Oltre a conoscere la patologia di cui

soffre il paziente sappiamo la durata della visita e il tempo necessario per completare l'infusione, rispettivamente v_p e f_p . Ogni paziente è assegnato ad una poltrona o letto, ci sono a disposizione 26 poltrone e 27 letti, tendenzialmente le poltrone sono preferite ai letti, sotto certi aspetti più scomodi, che, però, sono indispensabili per i casi più critici.

Lavoriamo sotto l'assunzione che il personale medico sia sufficiente a sopportare situazioni di massimo riempimento.

2.2 FORMULAZIONE MATEMATICA

Il modello realizzato ha 3 funzioni obiettivo di gerarchia diverse: il modello 2 non può essere risolto senza aver prima trovato una soluzione al primo modello, poiché prende il risultato della funzione precedente come vincolo nel suo sotto-modello, e similmente il modello 3 non ha senso senza aver considerato la soluzione del modello 2. La funzione obiettivo 1 si occupa di massimizzare il numero di pazienti visitati ed ha la priorità più alta. Una volta risolto, la soluzione si usa come vincolo per il modello 2 che si occupa di minimizzare il tempo di permanenza dei pazienti nel centro.

Di seguito riportiamo gli insiemi ed i parametri utilizzati nella realizzazione del modello.

P	Insieme dei pazienti
Π	Insieme pazienti non critici
Λ	Insieme pazienti critici
K	Insieme macro-patologie
T	Insieme giorni lavorativi
H	Insieme time-slot in un giorno
A	Insieme ambulatori

Tabella 2: Lista insiemi utilizzati nel modello

α_{pk}	Patologia per ogni paziente
v_p	Durata visita del paziente
f_p	Durata infusione
nP	Numero delle poltrone
nL	Numero dei letti
w_{akt}	Assegnazione dell'ambulatorio alla patologia nel giorno lavorativo

Tabella 3: Lista parametri utilizzati nel modello

2.2.1 Modello 1

Il primo modello ha come obiettivo massimizzare il numero di pazienti visitati.

Variabili

Un paziente che viene visitato è descritto dalla variabile binaria

$$x_{ha}^{pt} = \begin{cases} 1, & \text{se il paziente } p \text{ inizia la visita il giorno } t \text{ all'istante } h \text{ nell'ambulatorio } a \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases}$$

dalla quale possiamo ricavare giorno, ora e ambulatorio.

Similmente abbiamo la variabile binaria che descrive giorno e tempo dell'infusione

$$y_h^{pt} = \begin{cases} 1, & \text{se il paziente } p \text{ inizia l'infusione il giorno } t \text{ all'istante } h \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases}$$

Per gestire le preferenze delle poltrone da parte dei pazienti non critici usiamo le due variabili:

$$zL_h^{pt} = \begin{cases} 1, & \text{se il paziente } p \text{ inizia l'infusione all'istante } h \text{ nel giorno } t \text{ in un letto} \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$zP_h^{pt} = \begin{cases} 1, & \text{se il paziente } p \text{ inizia l'infusione all'istante } h \text{ nel giorno } t \text{ in una poltrona} \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases}$$

Vincoli

I vincoli per questo del primo modello sono 10 e sono condivisi con gli altri due modelli.

Ogni paziente può essere visitato al più una volta nella settimana (C1). La visita e l'infusione devono avvenire lo stesso giorno (C2), la prima ha lo scopo di capire se il paziente è in grado di tollerare il trattamento, per questo motivo l'infusione deve avvenire dopo la visita (C3). Il trattamento deve essere fatto in una postazione adeguata di conseguenza non si possono occupare posti andando a superare il numero massimo di poltrone e letti (C4 e C5). Le visite e l'infusione hanno orario di fine diverso, alle 14 ed alle 17, l'ultima visita ed infusione devono terminare entro l'orario indicato (C6 e C7). Il paziente deve essere visitato da uno specialista in un ambulatorio designato alla sua patologia (C8), tali visite possono avvenire una per volta (C9). Ogni paziente assegnato ad una poltrona può effettuare l'infusione o in poltrona oppure nel letto (CPL).

$$\forall p \in P: \sum_{a \in A} \sum_{t \in T} \sum_{h \in 1..d} x_{ha}^{pt} \leq 1 \quad C1$$

$$\forall p \in P, \forall t \in T: \sum_{a \in A} \sum_{h \in 1..d} x_{ha}^{pt} = \sum_{h \in H} y_h^{pt} \quad C2$$

$$\forall p \in P, \forall t \in T: \sum_{a \in A} \sum_{h \in 1..d} (h + v_p) * x_{ha}^{pt} \leq \sum_{h \in H} h * y_h^{pt} \quad C3$$

$$\forall t \in T, \forall h \in H: \sum_{p \in \Pi} \sum_{q: [q \geq h+1-f_p]} zP_q^{pt} \leq nP \quad C4$$

$$\forall t \in T, \forall h \in H: \sum_{p \in \Lambda} \sum_{q: [q \geq h+1-f_p]} y_q^{pt} + \sum_{p \in \Pi} \sum_{q: [q \geq h+1-f_p]} zL_q^{pt} \leq nL \quad C5$$

$$\forall p \in P, t \in T, a \in A: \sum_{h \in 1..d} (h - 1 + v_p) * x_{ha}^{pt} \leq d \quad C6$$

$$\forall p \in P, t \in T: \sum_{h \in H} (h - 1 + f_p) * y_h^{pt} \leq M \quad C7$$

$$\forall p \in P, t \in T, a \in A, k \in K, [\alpha_{pk} = 1]: \sum_{h \in 1..d} x_{ha}^{pt} \leq w_{akt} \quad C8$$

$$\forall a \in A, t \in T, h \in 1..d: \sum_{p \in P} \sum_{q: [q \geq h+1-v_p]} x_{qa}^{pt} \leq 1 \quad C9$$

$$\forall p \in \Pi, t \in T, h \in H: y_h^{pt} = zL_h^{pt} + zP_h^{pt} \quad CPL$$

Obiettivo

La funzione obiettivo del primo modello è:

$$\max \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} \sum_{a \in A} x_{ha}^{pt}$$

Ha come obiettivo la massimizzazione del numero di pazienti visitati nell'arco temporale che si è impostato, l'insieme T dei giorni lavorativi. È l'obiettivo di maggiore rilievo il cui risultato viene usato come vincolo negli altri due modelli.

2.2.2 Modello 2

Il modello 2 vuole migliorare l'esperienza del paziente nell'ospedale tenendo fissato il numero massimo possibile di pazienti visitati.

La soluzione del modello precedente è vincolante alla risoluzione della funzione obiettivo che vedremo più avanti. Tali soluzioni diventano i parametri: $P_{visitati}$, l'insieme dei pazienti visitati; $P_{nonvisitati}$, l'insieme dei pazienti non visitati e GV_p , il giorno di visita del paziente p .

Variabili

Le variabili sono condivise con il modello precedente con l'unica aggiunta di:

$$C_p \geq 0$$

che contiene il tempo di permanenza nel centro di ogni paziente visitato.

Vincoli

Oltre ai vincoli visti in precedenza per la risoluzione della funzione obiettivo in maniera adeguata ne dobbiamo considerare altri 7.

Il tempo di permanenza nell'ospedale è dato dal tempo di fine infusione meno il tempo di inizio visita (C10). I pazienti non visitati non possono essere schedati né per una visita (C11) né per l'infusione (C12) al contrario di quelli visitati che devono necessariamente avere entrambi i valori di x_{ha}^{pt} , per le visite (C13) e di y_h^{pt} , per le infusioni (C14), settati adeguatamente. L'ultimo vincolo è legato al parametro GV_p , i pazienti devono effettuare visita ed infusione nei giorni assegnati.

$$\forall p \in P, t \in T: \sum_{h \in H} (h + f_p) * y_h^{pt} - \sum_{h \in 1..d} \sum_{a \in A} h * x_{ha}^{pt} \leq C_p \quad C10$$

$$\forall p \in P_{nonvisitati}, t \in T, a \in A, h \in 1..d: x_{ha}^{pt} = 0 \quad C11$$

$$\forall p \in P_{nonvisitati}, t \in T, a \in A, h \in H: y_h^{pt} = 0 \quad C12$$

$$\forall p \in P_{visitati}, t \in T[GV_p = t]: \sum_{a \in A} \sum_{h \in 1..d} x_{ha}^{pt} = 1 \quad C13$$

$$\forall p \in P_{visitati}, t \in T[GV_p = t]: \sum_{h \in H} y_h^{pt} = 1 \quad C14$$

$$\forall p \in P_{visitati}, a \in A, h \in 1..d, t \in T[GV_p \neq t]: x_{ha}^{pt} = 0 \quad C15$$

$$\forall p \in P_{visitati}, a \in A, h \in H, t \in T[GV_p \neq t]: y_h^{pt} = 0 \quad C16$$

Obiettivo

La funzione obiettivo deve minimizzare il tempo trascorso dai pazienti nel centro. Per semplicità il tempo di arrivo del paziente coinciderà con l'inizio della visita e quello del termine dell'infusione coincide con il paziente che lascia l'ospedale; quindi, si agisce sul ritardo che c'è tra la fine della visita e l'inizio dell'infusione, nel Grafico 3, a pagina 20, l'attesa segnata in rosso.

$$\min \sum_{p \in P} C_p$$

2.2.3 Modello 3

Il modello 3, come il precedente, è un tentativo di migliorare la qualità della permanenza dei pazienti nella struttura, tenendo in considerazione dove viene fatta l'infusione. Prende come parametro il tempo totale di permanenza dei pazienti salvato in TP , che imporrà l'unico vincolo aggiuntivo rispetto a quelli già tenuti in considerazione.

$$\sum_{p \in P} C_p \leq TP$$

Variabili

Le variabili usate in questo modello sono le stesse usate nel modello 2. Tengono in considerazione solamente i pazienti non gravi, che, quindi, possono avere assegnata la poltrona, la quale viene preferita al letto per ragioni di comodità, la maggior parte dei pazienti rientrano in questa categoria, mentre il letto è riservato solamente ai casi più gravi. I letti vengono utilizzati come “ripiego” nel caso in cui tutte le poltrone siano state occupate.

Obiettivo

La funzione obiettivo è massimizzare il numero di pazienti, che avendone la possibilità, si sottopongono al trattamento nelle poltrone.

$$\max \sum_{p \in \Pi} \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} z P_h^{pt}$$

3. Risultati numerici

I modelli sono stati implementati in AMPL e sono stati risolti con CPLEX 20.1.0.0 su un MacBook Pro, 2.5 GHz Intel Core i7 dual-core, RAM 16 GB.

I modelli sono stati applicati su 52 istanze basate su dati forniti dall'Ospedale San Martino di Genova, che dal 2011 si è fusa con l'Istituto Scientifico Tumori (IST) diventando uno dei 21 IRCCS pubblici nazionali (Ospedale San Martino di Genova). Le istanze rappresentano, approssimativamente, le settimane del 2018, analizziamo i risultati dei modelli per capire la loro efficacia, cercare possibili miglioramenti e trarre conclusioni sul costo computazionale dei modelli.

Il centro specializzato dell'ospedale offre cure per 16 tipi diversi di tumore organizzati in 7 macrocategorie:

- MA, mammella;
- GY, ginecologia;
- PO, polmoni-respiratorio;
- GI, gastrointestinale;
- GU, urologia;
- EM, ematologia;
- OT, altri tipi che comprendono epatobiliopancreatico, occhi e sistema nervoso, apparato endocrino, ossa e tessuti molli, cute, cavità orale e faringe, tumori benigni ed altri non specificati.

I dati che ci sono stati forniti sono riferiti a circa 32 mila accessi relativi ai pazienti dell'ospedale. Il Grafico 1 ci offre una visione della distribuzione delle patologie e possiamo vedere come le patologie ematologiche ed il cancro alla mammella contano per oltre metà di tutti gli accessi.

L'organizzazione dell'ospedale al momento delle visite era diversa da quella considerata nel nostro lavoro: invece di considerare un unico centro specializzato con al suo interno ambulatori che possiamo designare a piacimento a seconda delle esigenze o dell'esperto oncologico che abbiamo a disposizione, l'organizzazione attuale della struttura è fatta sì che ogni patologia viene diagnosticata e curata nel reparto collegato a quell'organo, per esempio, un cancro all'apparato digerente viene curato nel reparto gastrointestinale dell'ospedale. Le risorse che abbiamo considerato sono quindi la somma degli ambulatori, letti, poltrone ecc. dei vari reparti che sono riservati ai pazienti affetti da cancro. È da notare che tutte queste visite e relative infusioni sono state realmente effettuate, in alcuni casi, con l'uso di straordinari da parte dello staff medico.

Vediamo ora in dettaglio che risultati abbiamo ottenuto tenendo in considerazione il "punto di vista" dei pazienti e dell'ospedale.

DISTRIBUZIONE DELLE PATOLOGIE

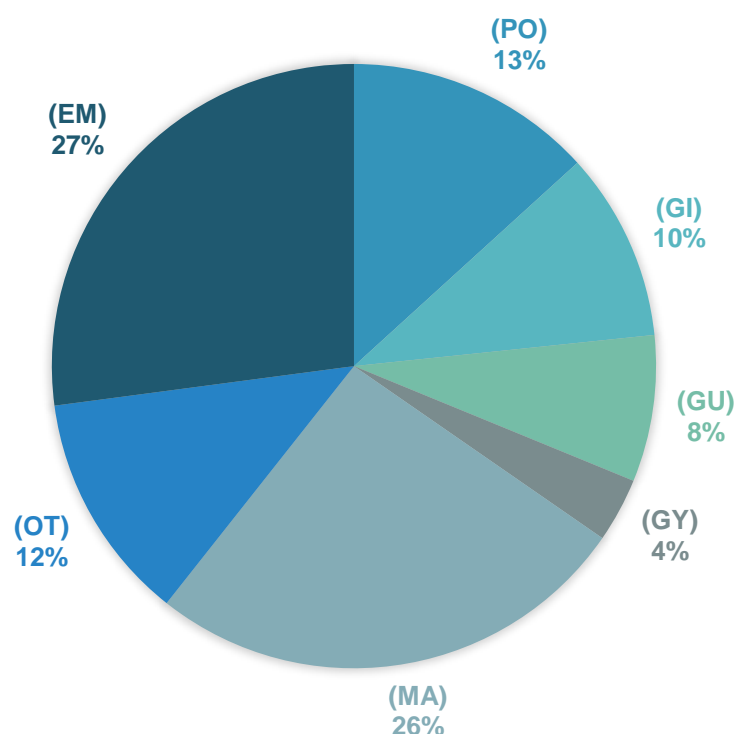


Grafico 1: distribuzione delle patologie

3.1 PAZIENTI

L'obiettivo principale del modello è quello di riuscire a curare il maggior numero possibile di pazienti. Come vediamo dal Grafico 2 i risultati sono buoni.

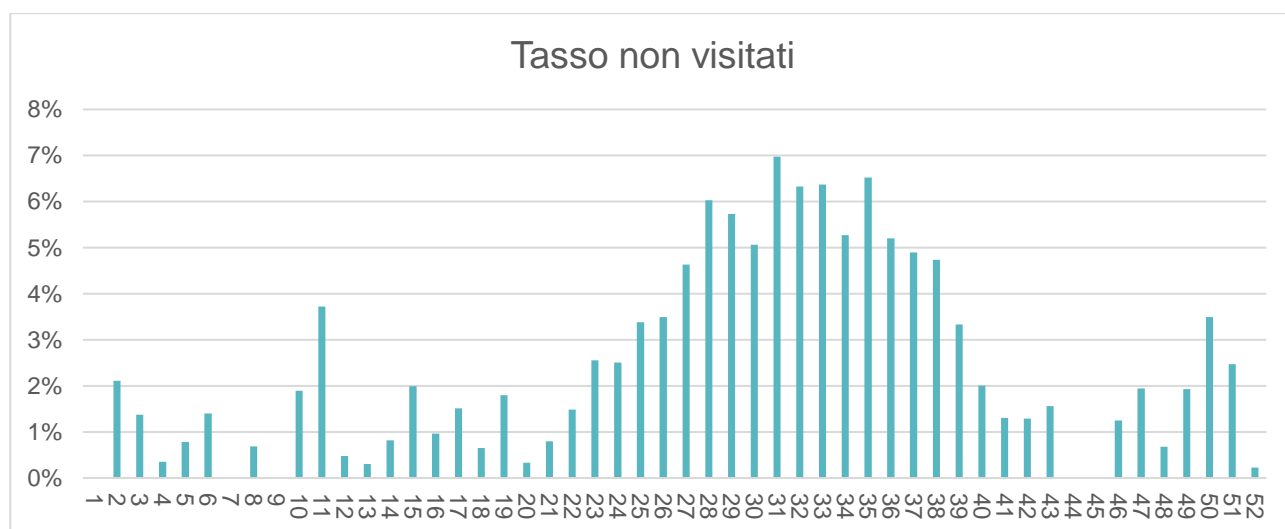


Grafico 2: Tasso pazienti non visitati

Il tasso dei pazienti non visitati non ha mai superato l'8%, il che è un ottimo risultato considerando la completa mancanza di straordinari. Andando ad indagare più in dettaglio

le cause delle mancate visite siamo arrivati a capire che una possibile causa è legata alla copertura non sufficiente per determinate patologie. Nella tabella 3 di seguito riportiamo le 3 istanze con il maggior numero di pazienti non visitati. Il problema era sempre lo stesso: il tempo delle visite per i pazienti affetti da patologie di tipo GU non era sufficiente. Andando a dedicare un ambulatorio in più in un altro giorno al posto di EM (ematologia) possiamo vedere come la situazione va a migliorare drasticamente, per altro senza arrecare difficoltà a pazienti affetti da altre patologie.

Tabella 4: modifiche di assegnazione degli ambulatori e risultati ottenuti

istanza	tot	Non Visitati	Non visitati dopo modifica	modifica ambulatorio	Problema principale
32	674	47	11	1 amb di EM in GU	GU non è coperta a sufficienza
29	680	41	5	1 amb di EM in GU	GU non è coperta a sufficienza
36	644	42	6	1 amb di EM in GU	GU non è coperta a sufficienza

Questo piccolo esperimento ci mostra quanto strettamente siano intrecciati i problemi operativi e quelli di tipo tattico. È comunque importante tenere a mente come l'assegnazione degli ambulatori non è arbitraria, ma ha dietro vincoli che non abbiamo investigato. Per risolvere il problema si può agire anche aumentando il tempo di visita degli ambulatori, così facendo il miglioramento è proporzionale alle ore extra messe a disposizione, ad esempio dedicando 30 minuti in più alle visite, nell'istanza 32 da 47 pazienti non visitati si arriva 44: la risorsa critica, in questo caso, è l'ambulatorio dove si fanno le visite per la patologia GU, ogni visita dura 10 minuti, così con straordinari di 30 minuti si riescono a visitare 3 persone in più, questo spiega anche perché utilizzando un ambulatorio in più si visitano 36 persone in più (ci sono 36 time slot da 10 minuti dalle 8 alle 14).

In conclusione, arrivare a visitare tutti i pazienti è relativamente facile utilizzando straordinari o apportando piccole modifiche all'assegnazioni degli ambulatori.

Il secondo obiettivo del nostro modello è quello di minimizzare il tempo di permanenza dei pazienti nel centro. Nella figura sottostante mostriamo come dovrebbe andare idealmente il percorso di un paziente: esso arriva puntualmente all'ora comunicata, inizia la visita, fatto ciò si accomoda su una poltrona oppure in un letto, se non ci sono posti liberi aspetta fino a quando non ha la possibilità di accomodarsi.

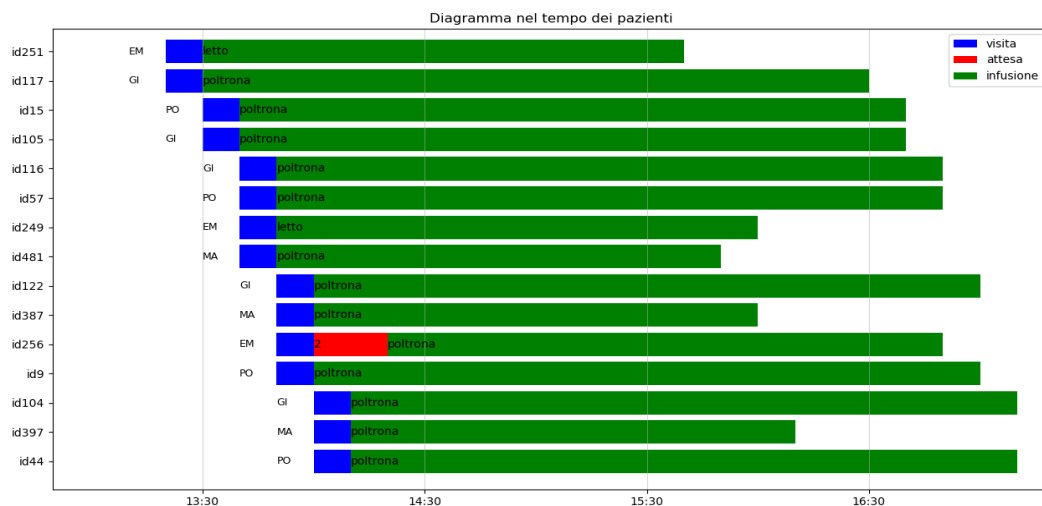


Grafico 3 di Gantt di 15 pazienti entrati dopo le 13:20 ed usciti alla chiusura, 17:00

Nell'esempio, Grafico 3, il paziente id256 ha dovuto aspettare 20 minuti prima di potersi accomodare.

Nell'ottimizzazione del tempo di attesa tra la visita e l'infusione diventa risorsa critica il numero di poltrone/letti. Una volta occupate tutte le poltrone si cominciano ad occupare i letti. Vediamo nei grafici 4 e 5 come in giorni "normali", Grafico 4, il numero di letti utilizzati è più basso di quello delle poltrone essendo utilizzato dai casi critici e nel caso in cui le poltrone siano tutte occupate, mentre i giorni di maggiore attesa, Grafico 5, arrivano a saturare entrambe le risorse.

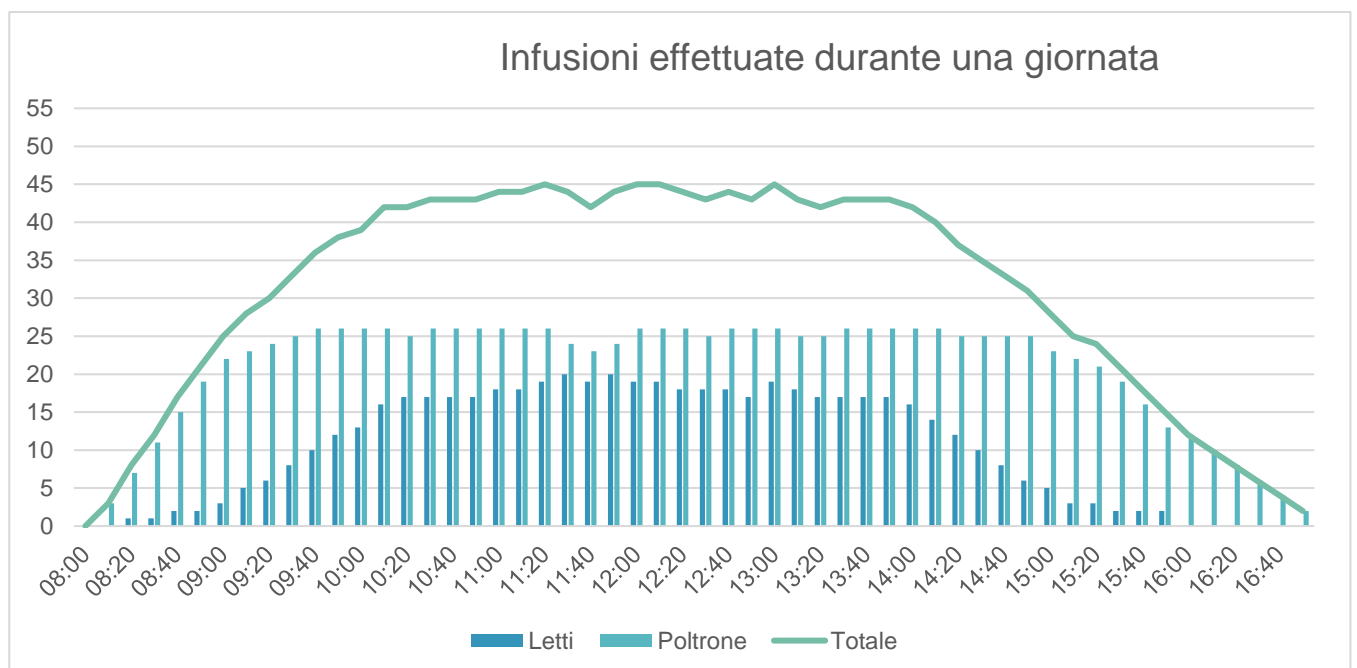


Grafico 4: occupazione poltrone/letti istanza2 giorno1 (tempo attesa totale 0)

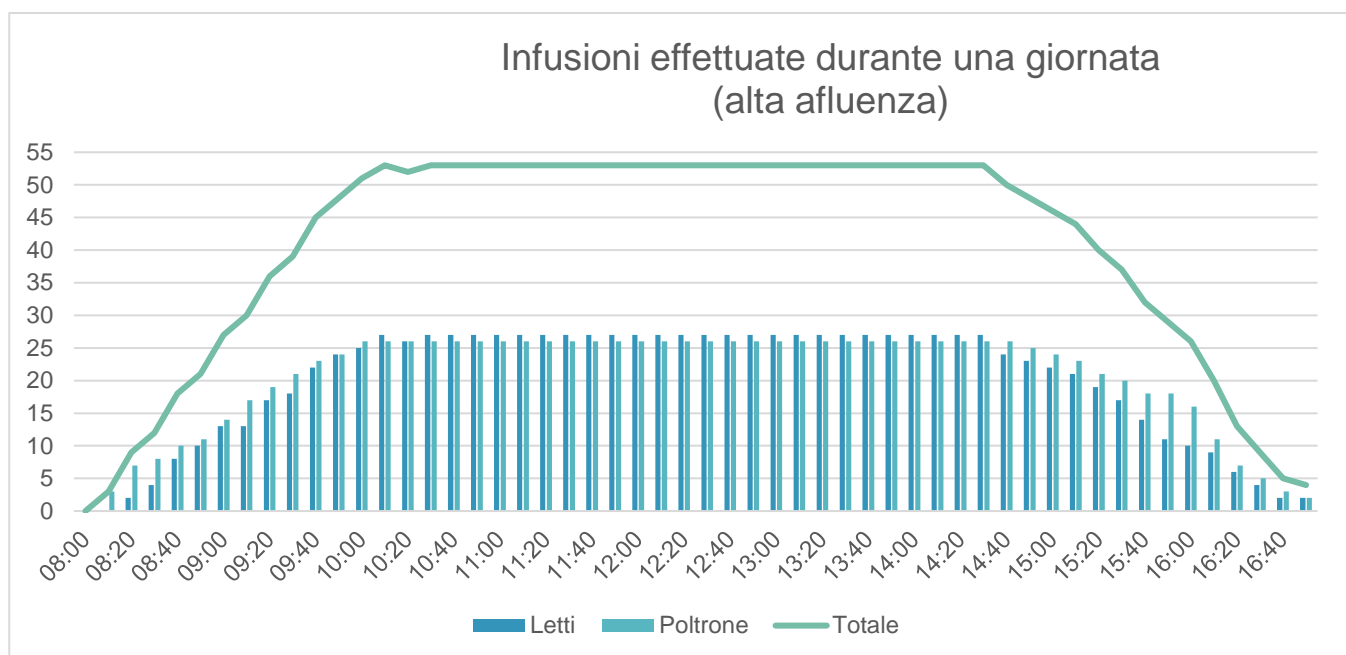


Grafico 5: occupazione poltrone/letti istanza12 giorno 4 (tempo attesa totale 102)

Tempi di attesa più lunghi sono dovuti a 2 cause: grande numero di pazienti e, paradossalmente, una buona assegnazione degli ambulatori, il “collo di bottiglia” si sposta dalla situazione degli ambulatori, vista prima, alle postazioni. Arriviamo così a capire che per riuscire ad offrire un migliore servizio bisogna agire parallelamente su entrambe le risorse, concentrarsi solo su una rischia solamente di spostare il problema senza risolverlo.

Analizzando l’andamento del numero di pazienti durante l’anno, Grafico 6, possiamo vedere come i numeri più bassi registrati sono in corrispondenza di periodi dell’anno in cui il personale medico va in ferie, Ferragosto e Natale.

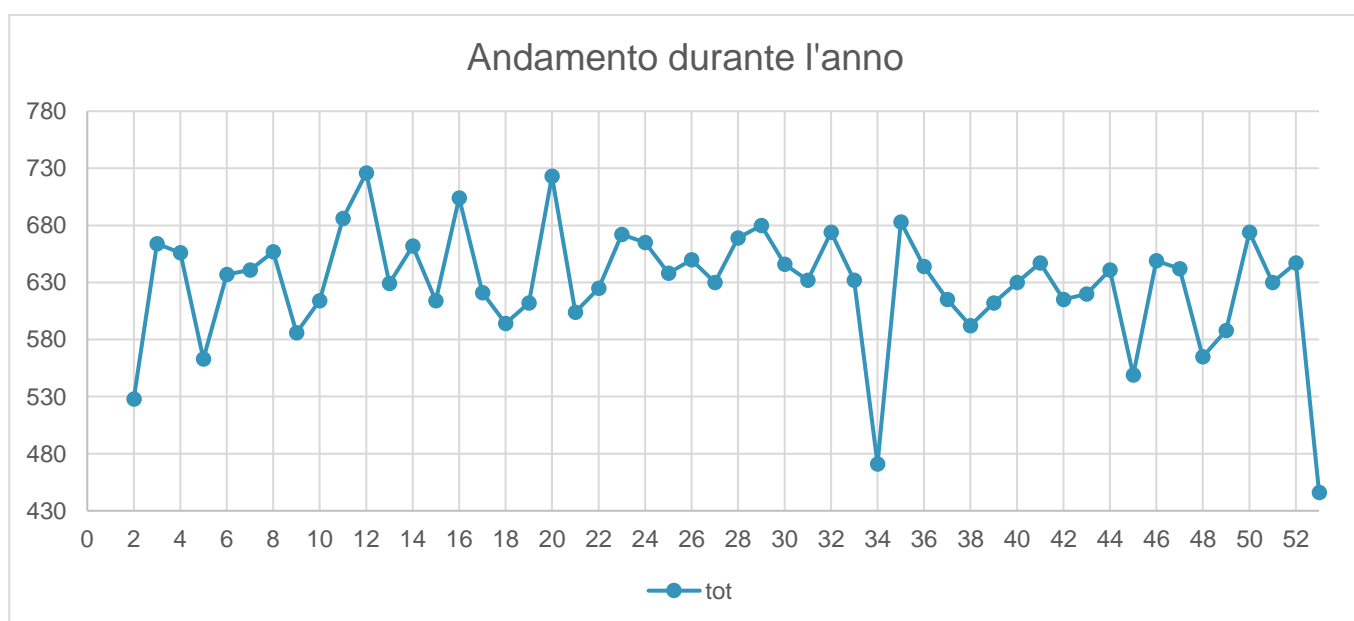


Grafico 6: totale pazienti visitati ogni settimana per l'intero anno

3.2 OSPEDALE

La struttura ospedaliera si trova a dover gestire le risorse del problema: ambulatori, letti, poltrone, personale, farmaci ecc. In questo lavoro abbiamo deciso di concentrarci sulle prime 3. Una cattiva assegnazione degli ambulatori può essere una delle cause principali alla mancata visita di pazienti. A tal proposito prendiamo in considerazione l'andamento del tasso di occupazione degli ambulatori dedicati alla patologia GU, che, come abbiamo visto prima, ha portato tale ambulatorio ad essere una risorsa critica. Come possiamo vedere dal Grafico 7 l'ambulatorio è alla sua capienza massima per gran parte dell'anno. Le ragioni che hanno portato ad una situazione simile possono essere diverse: una mancanza di oncologi specializzati in tale settore oppure un cambio improvviso della tendenza che, come possiamo vedere nelle settimane iniziali dell'anno, è ben più basso.

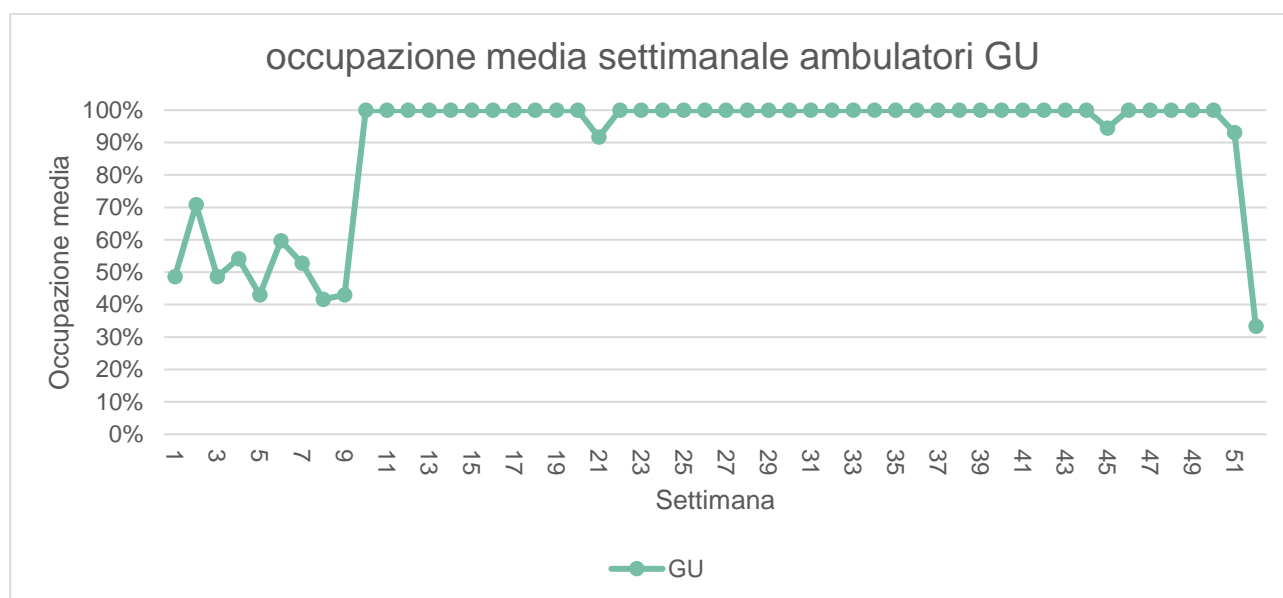


Grafico 7: tasso di occupazione dell'ambulatorio assegnato alle patologie GU

I dati della patologia PO (apparato respiratorio), Grafico 8, ci mostrano come la maggiore occupazione degli ambulatori coincide a grandi linee con l'arrivo dell'influenza stagionale, questo ci può far pensare come questa porti ad un acuirsi dei sintomi delle persone affette. È possibile notare un parallelo con la situazione COVID che nei medesimi periodi ha gli aumenti dei contagi.



Grafico 8: tasso di occupazione degli ambulatori assegnati alle patologie PO

Il Grafico 9 ci mostra l'andamento degli accessi con patologie EM, che sono la maggior parte dei casi, contano per il 28%, come visto prima. Nonostante l'alto numero di pazienti gli ambulatori non superano mai l'80% della loro capienza.

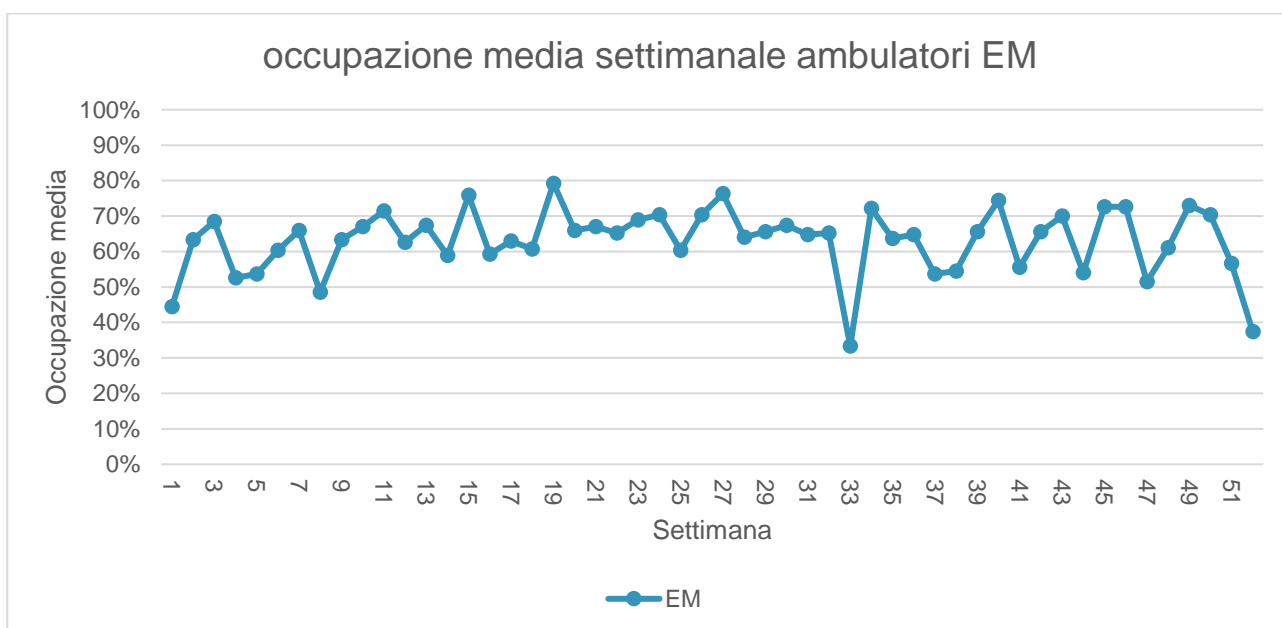


Grafico 9: Tasso di occupazione degli ambulatori che si occupano di patologie EM

In generale non ci sono delle tendenze ben definite in comune tra gli ambulatori di tutte le patologie, come possiamo vedere nel Grafico 10, ma variano molto le une dalle altre passando da un'occupazione vicina al 40% per arrivare a scenari dove gli ambulatori sono completamente pieni.

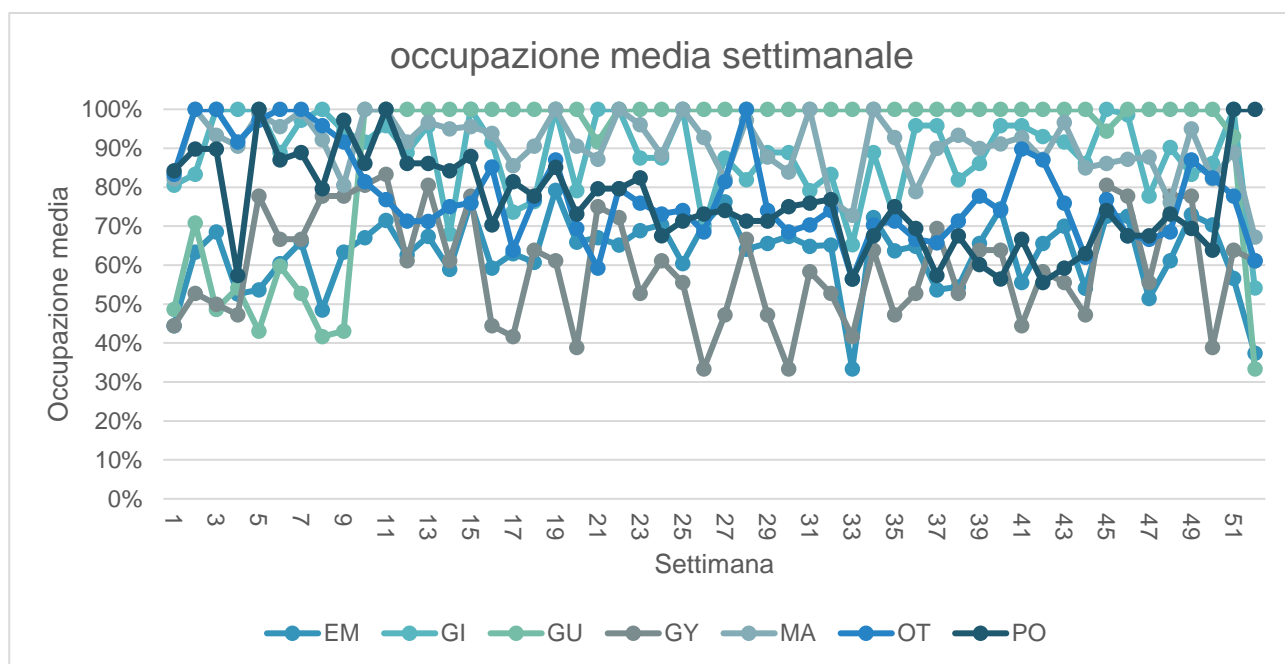


Grafico 10: Tasso di occupazione degli ambulatori per patologia

Uno studio di queste tendenze è necessario per riuscire a fare un'adeguata assegnazione degli ambulatori.

Analizziamo i dati relativi all'occupazione di letti e poltrone. Ogni giorno le visite iniziano alle 8:00, tendenzialmente hanno durata di 10 minuti, quindi alle 8:10 iniziano ad accomodarsi le prime persone. Come vediamo nel Grafico 11, durante la mattinata il numero continua a salire fino a quando non si raggiunge il numero massimo di poltrone (26). Gli ambulatori chiudono alle 14:00, quindi verso quell'ora il numero di pazienti comincia a diminuire fino ad arrivare a 0 alla chiusura del centro, le 17.

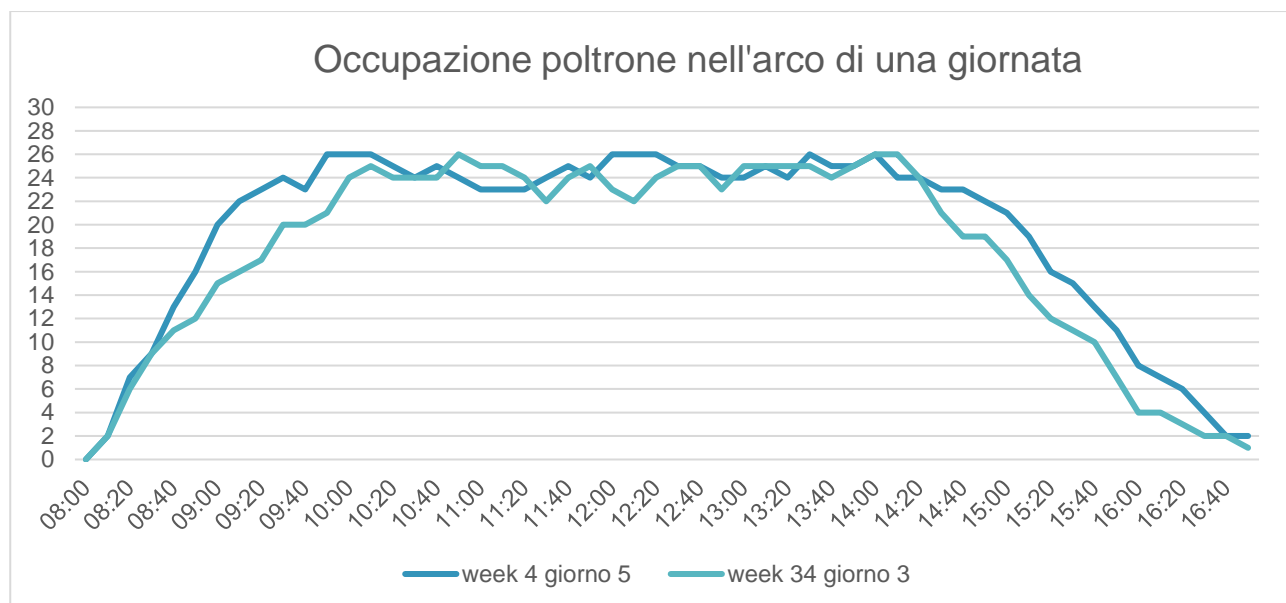


Grafico 11 occupazione poltrone nell'arco della giornata, su due giorni presi casualmente

L'occupazione dei letti nell'arco della giornata è diversa, Grafico 12. I pazienti in condizioni più critiche sono in numero minore quindi i letti diventano una soluzione di ripiego quando i posti nelle poltrone terminano, per questo motivo non hanno un andamento regolare, ma comunque crescono quando il numero di pazienti diventa importante, come già visto nel Grafico 5.

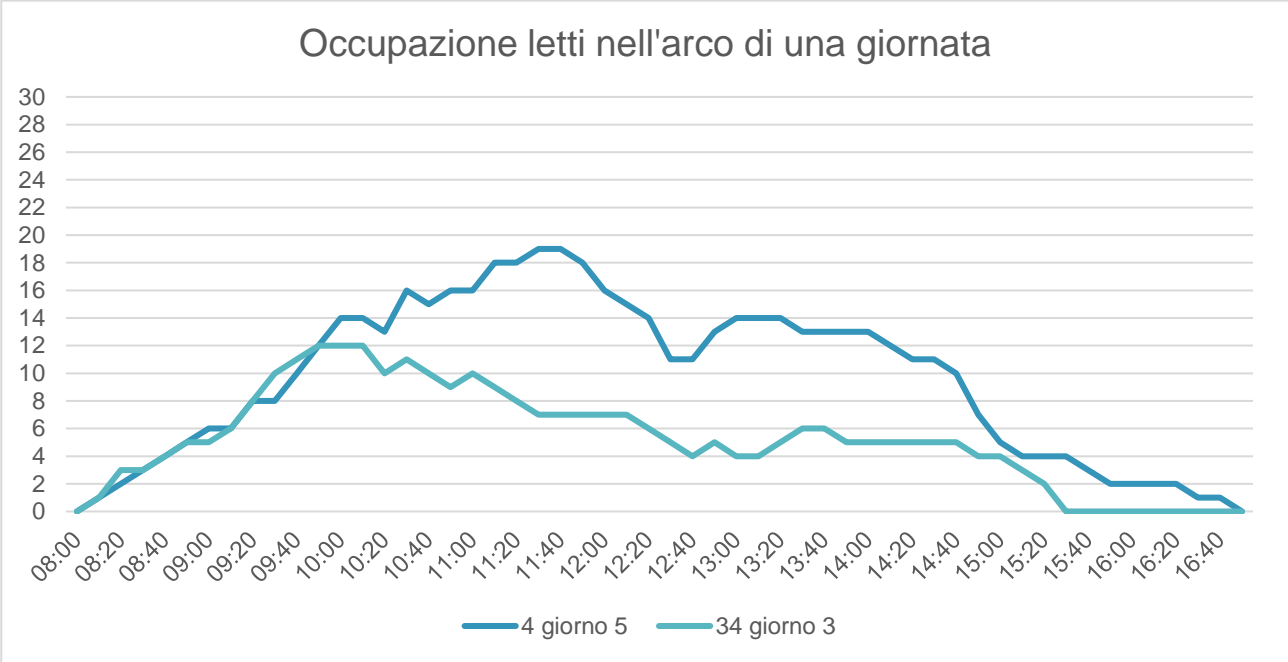


Grafico 12: occupazione dei letti sugli stessi giorni considerati nel grafico 11

Ora che abbiamo visto come cambia il numero di pazienti sottoposti all'infusione nell'arco della giornata possiamo meglio capire come mai l'occupazione media in una settimana è così bassa per i letti rispetto alle poltrone, Grafico 13 e Grafico 14.

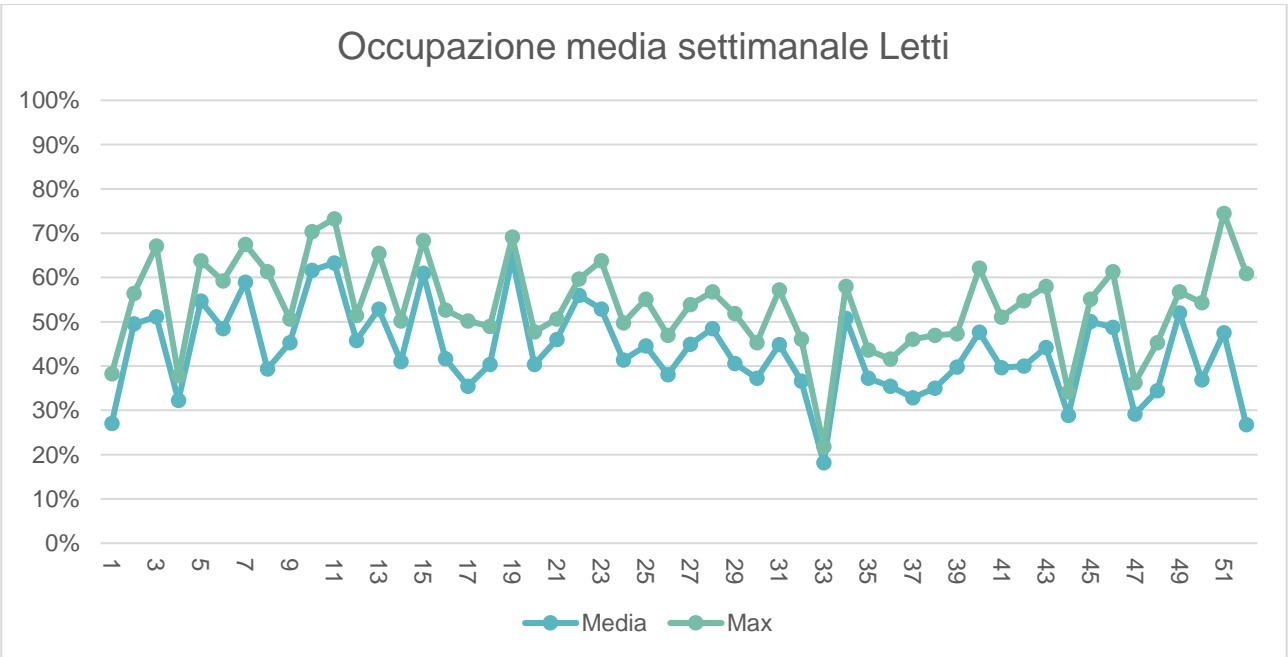


Grafico 13: Tasso occupazione media settimanale dei letti

Per le ragioni che abbiamo investigato prima vediamo come l'occupazione media settimanale in realtà non potrà mai essere al 100%, ci sarà sempre una graduale salita all'inizio della giornata ed una graduale discesa dopo la chiusura degli ambulatori.

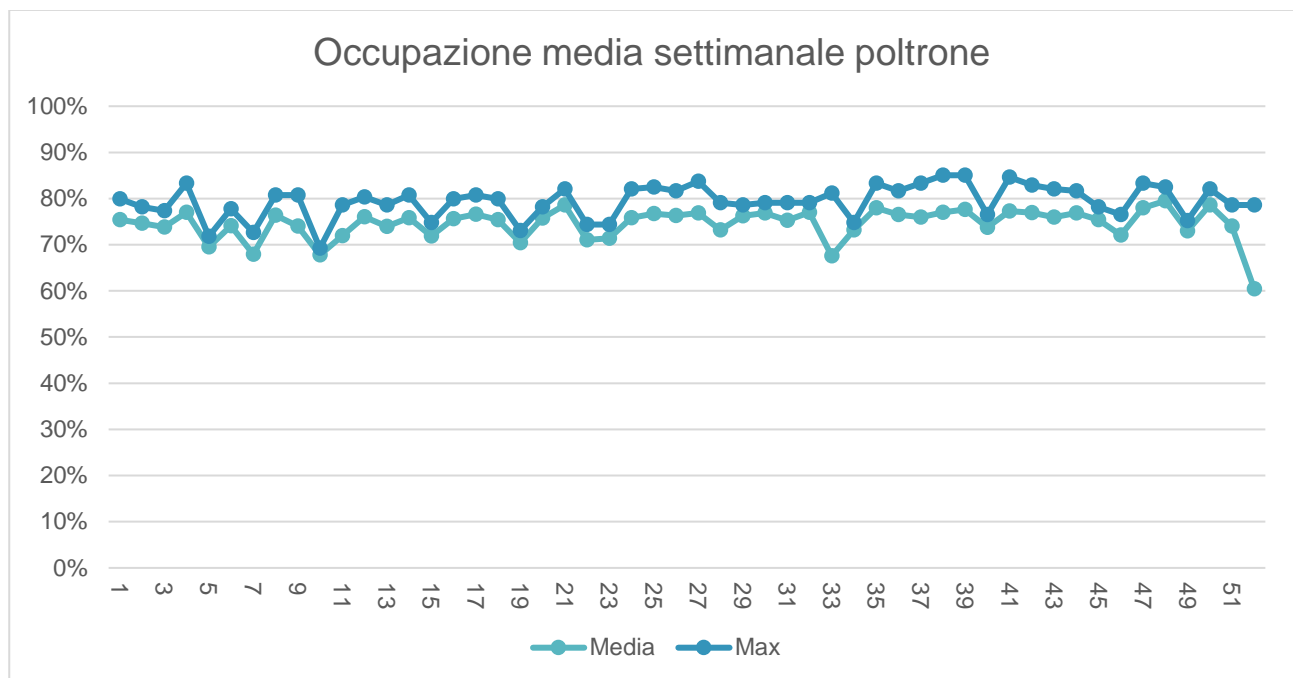


Grafico 14: Tasso occupazione media settimanale delle poltrone

3.3 OTTIMIZZAZIONE

L'ultimo aspetto che andiamo a considerare è quello computazionale.

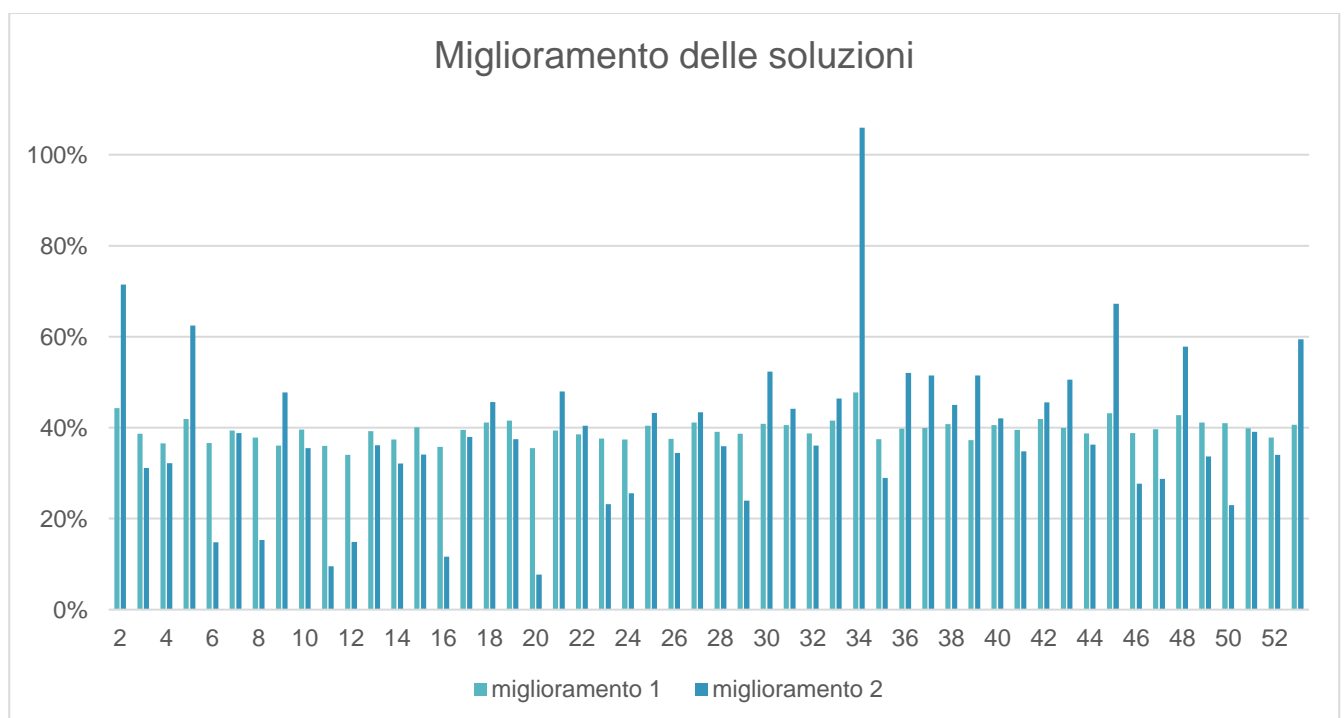


Grafico 15: Tasso di miglioramento dopo aver applicato la funzione obiettivo 2 e 3

Nel Grafico 15 vediamo quanto viene migliorata la soluzione ottenuta dalla risoluzione del modello 1. Il miglioramento 1 nel grafico mostra di quanto sia diminuita l'attesa totale dei pazienti dopo aver applicato il modello 2, in generale ogni istanza è migliorata tra il 30% e 40%. Il miglioramento 2 confronta il risultato della funzione obiettivo 2 con il risultato della terza funzione obiettivo. In quest'ultima, Grafico 16, più che nel miglioramento 1, Grafico 17, riusciamo a vedere come c'è una correlazione inversa tra il numero di pazienti ed il tasso di miglioramento: maggiore è il numero di pazienti e più diventa difficile trovare una soluzione un risultato ottimo.

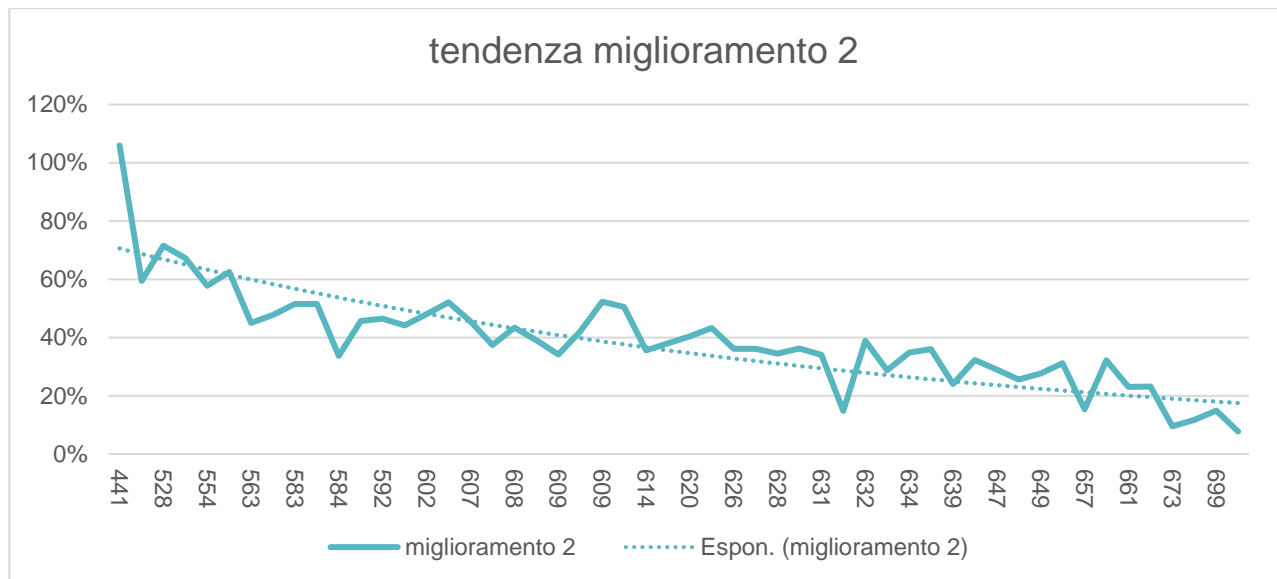


Grafico 16: tendenza di miglioramento 2 all'aumentare del numero di pazienti visitati

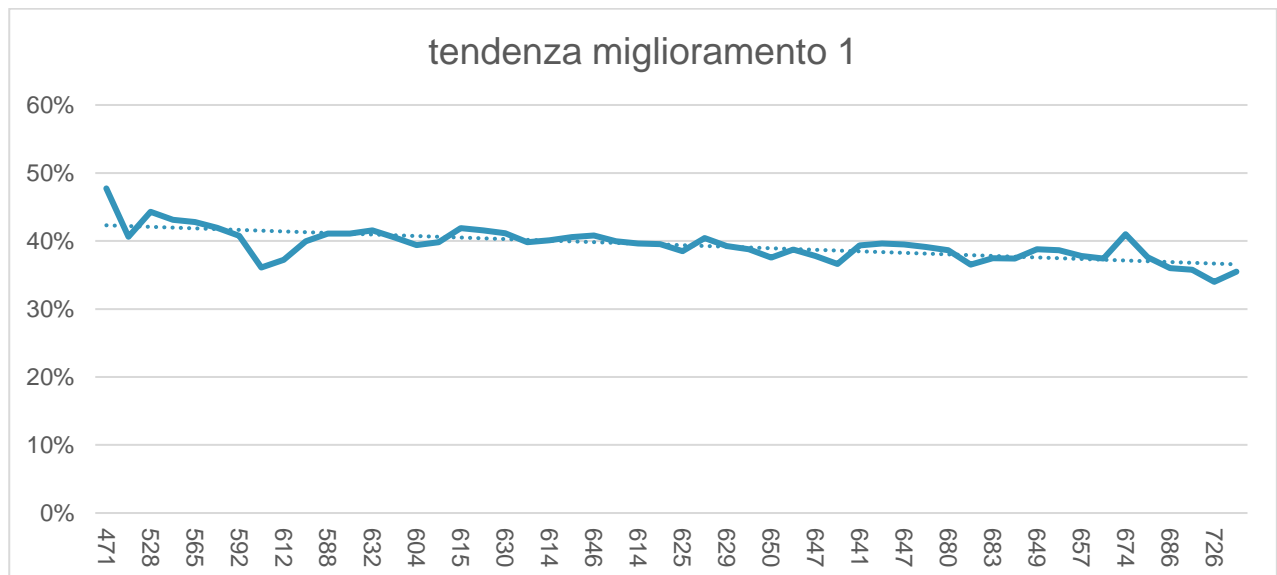


Grafico 17:tendenza di miglioramento 1 all'aumentare del numero di pazienti visitati

Un comportamento simile si ha tra il tempo di risoluzione dei modelli ed il numero di pazienti da visitare (Grafico 18): più è alto il numero di pazienti e più variabili entrano in gioco rendendo il problema più difficile da risolvere. Possiamo inoltre notare come ogni modello è sempre più difficile da risolvere fino ad arrivare al modello 3 che termina nella

maggior parte dei casi poiché raggiunge il tempo limite, questo avviene poiché ogni funzione obiettivo successiva ha vincoli e variabili aggiuntive.

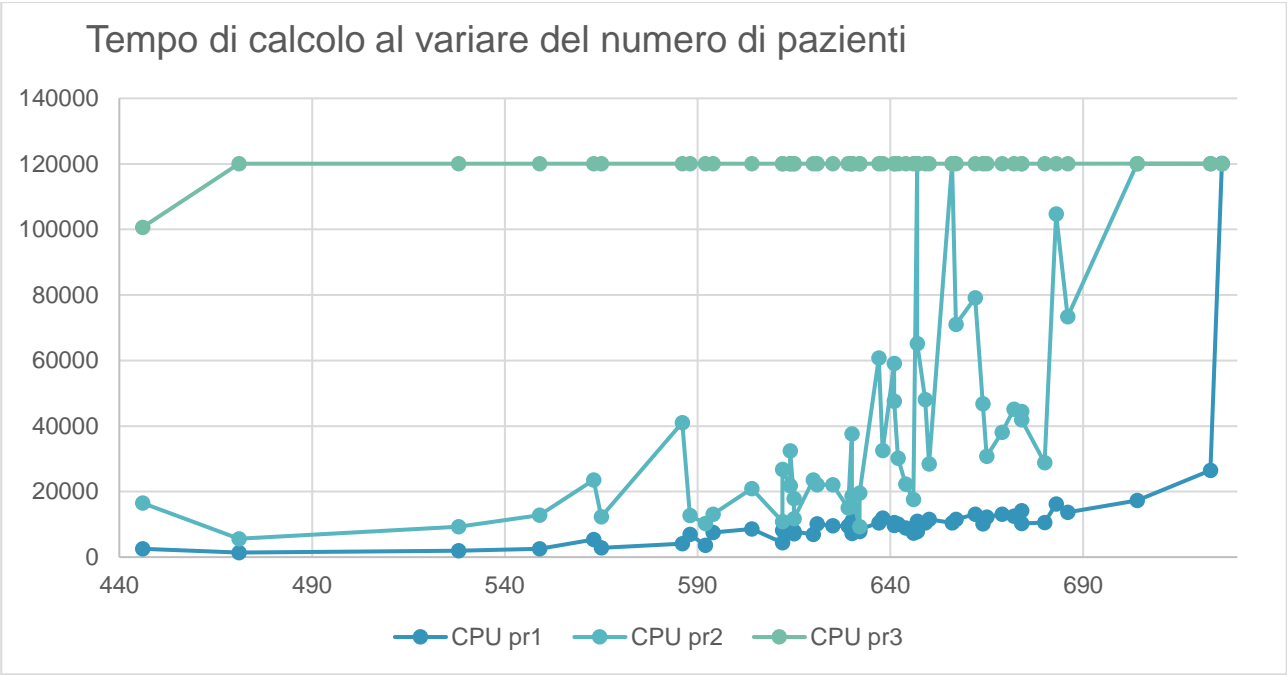


Grafico 18: Tempo di calcolo dei problemi al variare del numero di pazienti totali

4. Conclusioni

Riassunto problema, possibili miglioramenti.

In questo lavoro viene trattato l'aspetto operativo della gestione dei trattamenti chemioterapici in un centro specializzato. Il nostro obiettivo principale è quello di riuscire a curare il maggior numero di pazienti possibili, ad esso sono affiancati 2 obiettivi secondari: minimizzare il tempo di permanenza dei pazienti nel centro e massimizzare la preferenza della postazione dove avviene l'infusione. Dopo aver mostrato il modello matematico che abbiamo creato per la risoluzione del problema lo abbiamo testato su dati storici che ci sono stati forniti dall'ospedale San Martino di Genova. I dati sono organizzati in 52 istanze ognuna a rappresentare una settimana del 2018.

Il modello è risultato in grado di offrire ottimi risultati considerando la totale mancanza di straordinari. Il modello potrebbe avere risultati ancora migliori se integrato con la pianificazione tattica delle risorse dell'ospedale arrivando ad una possibile applicazione nel mondo reale.

BIBLIOGRAFIA

- Chantal Baril, Viviane Gascon, Jonathan Miller, Nadine Côté. «Use of a discrete-event simulation in a Kaizen event: A case study in healthcare.» *European Journal of Operational Research* 249, n. 1 (2016): 327-339.
- Christina E. Savillea, Honora K. Smitha, Katarzyna Bijak. «Operational research techniques applied throughout cancer care services: a.» *Health Systems* 8, n. 1 (2019): 52-73.
- Giuliana Carello, Paolo Landa, Elena Tànfani, Angela Testi. «Master Chemotherapy Planning and Clinicians Rostering.» *Central European Journal of Operations Research* 30, 2022: 159-187.
- Guillaume Lamé, Oualid Jouini, Julie Stal-Le Cardinal. «Outpatient Chemotherapy Planning: a Literature Review with Insights from a Case Study.» *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering* 6, n. 3 (2016): 127 - 139.
- International Agency for Research on Cancer. *Cancer Tomorrow*. 2021.
https://gco.iarc.fr/tomorrow/en/dataviz/bars?types=0&sexes=0&mode=population&group_populations=0&multiple_populations=1&multiple_cancers=1&cancers=39&populations=903_904_905_908_909_935&apc=cat_ca20v1.5_ca23v-1.5&group_cancers=1.
- Joren Marynissen, Erik Demeulemeester. «Literature review on multi-appointment scheduling problems in hospitals.» *European Journal of Operational Research* 272, n. 2 (2019): 407 - 419.
- Ospedale San Martino di Genova. s.d. <https://www.ospedalesanmartino.it/ospedale/chiamo/presentazione.html>.
- Peter J.H. Hulshof, Nikky Kortbeek, Richard J. Boucherie, Erwin W. Hans, Piet J.M. Bakker. «Taxonomic classification of planning decisions in health care: a structured review of the state of the art in OR/MS.» *Health Systems* 1 (2012): 129 - 175.
- R. B. Fetter, J. D. Thompson. «The Simulation of Hospital Systems.» *Operations Research* 13 (1965): 689-711.
- World Health Organization. 2021. <https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/cancer>.

Appendice

In questa appendice abbiamo il codice utilizzato nel lavoro. L'implementazione dei modelli ed il file che li esegue sono nella sezione codice AMPL, i file devono essere situati nella stessa cartella insieme all'istanza sulla quale si vuole applicare il modello, il codice è stato eseguito sull'IDE AMPL. Nella seconda parte abbiamo il codice Python, utilizzato principalmente per formattare adeguatamente i file e per creare dei grafici di Gantt per avere una visione del percorso dei pazienti nella struttura. È stato fatto ampio uso di Excel per l'organizzazione dei dati e la creazione dei grafici, per motivi di praticità non sono riportati i contenuti di tali file.

CODICE AMPL

mod1.mod:

```
# INSIEMI E PARAMETRI
```

```
param ptot; # numero totale pazienti
set P = 1 .. ptot; # insieme pazienti
```

```
set K; # insieme patologie
set T; # insieme dei giorni lavorativi in una settimana
param d; # numero di slot in cui e' aperto l'ambulatorio (8-14)
```

```
param M; # numero di slot in cui e' aperto il servizio (8-17)
set H := 1..M; # insieme timeslot di un giorno (8-17)
```

```
set A; # insieme ambulatori
param alpha{P, K} binary; # 1 se il paziente p ha la patologia k
param pi{P} binary; # 1 se il paziente p è assegnato ad una poltrona
param lambda{P} binary; # 1 se il paziente p è assegnato ad un letto
param v{P}; # durata visita del paziente p
param f{P}; # durata infusione del paziente p
param w{A, K, T} binary;
# 1 se la patologia k è assegnata all'ambulatorio a nel giorno t
param MaxPi; # massimo numero di poltrone 26
param MaxLambda; # massimo numero di letti 27
```

```
# VARIABILI
```

```
var x{P, T, 1..d, A} binary;
# x[p,t,h,a]=1 se paziente p inizia la visita nell'ambulatorio a all'istante h
del giorno t
```



```

var y{P, T, H} binary;
# y[p,t,h]=1 se paziente p inizia l'infusione all'istante h del giorno t

var zL{p in P, T, H: pi[p]=1} binary;
# zL[p,t,h]=1 se paziente p inizia l'infusione all'istante h nel giorno t in un
letto
# zL[p,t,h]=0 altrimenti

var zP{p in P, T, H: pi[p]=1} binary;
# zP[p,t,h]=1 se paziente p inizia l'infusione all'istante h nel giorno t in
una poltrona
# zP[p,t,h]=0 altrimenti

# FUNZIONE OBIETTIVO

maximize NumeroVisite: sum{p in P, t in T, h in 1..d, a in A} x[p,t,h,a] ;
# massimizzare il numero di persone visitate e sottoposte a infusione

# VINCOLI

subject to C1 {p in P}:
    sum{a in A, t in T, h in 1..d} x[p,t,h,a] <= 1 ;
# ogni paziente può essere visitato al più una volta nella settimana

subject to C2 {p in P, t in T}:
    sum{a in A, h in 1..d} x[p,t,h,a] = sum{h in H} y[p,t,h] ;
# la visita e l'infusione devono avvenire lo stesso giorno

subject to C3 {p in P, t in T}:
    sum{a in A, h in 1..d} ((h+v[p])*x[p,t,h,a]) <= sum{h in H} h*y[p,t,h] ;
# l'infusione deve avvenire dopo la visita

subject to C4 {t in T, h in H}:
    sum{p in P, q in 1..h: pi[p]=1 and q >= h+1-f[p]} zP[p,t,q] <= MaxPi ;
# non si può superare il numero massimo di poltrone

subject to C5 {t in T, h in H}:
    sum{p in P, q in 1..h: lambda[p]=1 and q >= h+1-f[p]} y[p,t,q] + sum{p in
P, q in 1..h: pi[p]=1 and q >= h+1-f[p]} zL[p,t,q] <= MaxLambda ;
# non si può superare il numero massimo di letti

```

```

subject to C6 {p in P, t in T, a in A}:
    sum{h in 1..d} (h-1+v[p])*x[p,t,h,a] <= d ;
# le visite devono finire prima della chiusura dell'ambulatorio

subject to C7 {p in P, t in T}:
    sum{h in H} (h-1+f[p])*y[p,t,h] <= M ;
# le infusioni devono finire prima della chiusura del servizio

subject to C8 {p in P, t in T, a in A, k in K: alpha[p,k]=1}:
    sum{h in 1..d} x[p,t,h,a] <= w[a,k,t] ;
# il paziente p deve essere curato in un ambulatorio a designato per la
patologia

subject to C9 {a in A, t in T, h in 1..d}:
    sum{p in P, q in 1..h: q >= h+1-v[p]} x[p,t,q,a] <= 1 ;
# ogni ambulatorio puo' visitare max una persona alla volta

subject to CPL {p in P, t in T, h in H: pi[p]=1}:
    y[p,t,h] = zL[p,t,h] + zP[p,t,h] ;
# ogni paziente assegnato ad una poltrona può fare l'infusione o in una
poltrona o in un letto

mod2.mod:

# INSIEMI E PARAMETRI

set Pvisitati default {} ; # pazienti visitati
set Pnonvisitati default {} ; # pazienti non visitati
param GV{Pvisitati} within T; # GV[p]=giorno di visita del paziente visitato p

# VARIABILI

var C{P} >=0 ;
# tempo di permanenza del paziente p nel centro

# FUNZIONE OBIETTIVO

minimize TempoPermanenza: sum{p in P} C[p] ;
# mimimizzare il tempo di permanenza dei pazienti in ospedale

# VINCOLI

```

```

subject to C10 {p in P, t in T}:
    (sum{h in H} (h+f[p])*y[p,t,h]) - (sum{h in 1..d, a in A} h*x[p,t,h,a]) <=
C[p] ;
# il tempo di permanenza in ospedale nel giorno t
# e' dato dal tempo di fine infusione meno il tempo di inizio visita

subject to C11 {p in Pnonvisitati, t in T, a in A, h in 1..d}:
    x[p,t,h,a] = 0 ;

subject to C12 {p in Pnonvisitati, t in T, h in H}:
    y[p,t,h] = 0 ;

subject to C13 {p in Pvisitati, t in T: GV[p]=t}:
    sum{a in A, h in 1..d} x[p,t,h,a] = 1 ;

subject to C14 {p in Pvisitati, t in T: GV[p]=t}:
    sum{h in H} y[p,t,h] = 1 ;

subject to C15 {p in Pvisitati, a in A, h in 1..d, t in T: GV[p]<>t}:
    x[p,t,h,a] = 0 ;

subject to C16 {p in Pvisitati, a in A, h in H, t in T: GV[p]<>t}:
    y[p,t,h] = 0 ;

mod3.mod:

# INSIEMI E PARAMETRI

param TP >=0 ;
# tempo di permanenza totale

# FUNZIONE OBIETTIVO

maximize PrefPoltrona: sum{p in P, t in T, h in H: pi[p]=1} zP[p,t,h] ;
# massimizzare il numero di pazienti (assegnati alle poltrone) che fanno
l'infusione nelle poltrone

# VINCOLI

subject to Ctempoperm: sum{p in P} C[p] <= TP ;
# il tempo di permanenza totale in ospedale <= tempo "ottimo" trovato
risolvendo il problema 2

```

t1.run :

reset;

reset;

carico i modelli 1, 2, 3

model mod1.mod;

model mod2.mod;

model mod3.mod;

#model vi.mod;

carico i dati

data ist_correct/corr_istanza2.dat;

#data istanza.dat; # l'istanza via via corretta viene copiata in istanza.dat
dal .sh

definisco il problema 1

problem p1: x, y, zL, zP, NumeroVisite, C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9,
CPL;

definisco il problema 2

problem p2: x, y, zL, zP, C, TempoPermanenza, C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8,
C9, CPL, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16;

definisco il problema 3

problem p3: x, y, zL, zP, C, PrefPoltrona, C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9,
CPL, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16, Ctempoperm;

carico e risolvo il problema 1

problem p1;

option solver cplex;

option cplex_options 'bestbound mipdisplay=2 timelimit=300 timing 1' ;

solve p1 ;

param timep1;

let timep1 := _solve_elapsed_time ;

printf"\n\n\n Tempo permanenza totale pazienti = %d \n\n\n", sum{p in P, t in
T} ((sum{h in H} (h+f[p])*y[p, t, h]) - (sum{h in 1..d, a in A} h*x[p, t, h,
a]))) ;

trovo i pazienti visitati e non visitati

for{p in P}{

if(sum{t in T, h in 1..d, a in A} x[p,t,h,a] == 0) then{

let Pnonvisitati := Pnonvisitati union {p};

```

    }
    else{
        let Pvisitati := Pvisitati union {p};
    }
}

# trovo il giorno di visita dei pazienti visitati
for{p in Pvisitati}{
    for{t in T}{
        if(sum{h in 1..d, a in A} x[p,t,h,a] == 1) then{
            let GV[p] := t;
        }
    }
}

# carico e risolvo il problema 2
problem p2;
#option presolve 0;
option solver cplex;
option cplex_options 'bestbound mipdisplay=2 timelimit=300 timing 1' ;
solve p2 ;
param timep2;
let timep2 := _solve_elapsed_time ;
display PrefPoltrona;
let TP := TempoPermanenza;

# carico e risolvo il problema 3
problem p3;
#option presolve 0;
option solver cplex;
option cplex_options 'bestbound mipdisplay=2 timelimit=1200 timing 1' ;
solve p3 ;
param timep3;
let timep3 := _solve_elapsed_time ;

#####

# scrivo risultati dettagliati

printf"\n\nRisultati\n">> r.txt;

# riassunto

```

```

printf"\nPazienti totali: %d \n",ptot >r.txt;
printf"Pazienti visitati: %d \n",NumeroVisite >r.txt;
printf"Pazienti non visitati %d: ",ptot-NumeroVisite >r.txt;
for{p in P}{
    if (sum{t in T, a in A, h in 1..d} x[p,t,h,a]==0) then{
        printf"%d ",p >r.txt;
        for {k in K}{
            if (alpha[p,k]==1) then{
                printf("(%s) ",k >r.txt;
            }
        }
    }
}
printf"\nAttesa media %1.2f", (sum{p in Pvisitati} (C[p]-v[p]-f[p]))/NumeroVisite >r.txt;
printf"\nAttesa max %d", (max{p in Pvisitati} (C[p]-v[p]-f[p])) >r.txt;
printf"\nPazienti che preferiscono poltrone: %d", (sum{p in P} pi[p]) >r.txt;
printf"\nPazienti assegnati a poltrone: %d", PrefPoltrona >r.txt;
printf"\nUltimo istante inizio infusione: %d \n", (max{p in P} (sum{t in T, h in H} h*y[p,t,h])) >r.txt;

# dettagli
for{p in P}{
    printf"\nPaziente %d ", p >r.txt;
    for {k in K}{
        if (alpha[p,k]==1) then{
            printf("(%s) ",k >r.txt;
        }
    }
    if (sum{t in T, a in A, h in 1..d} x[p,t,h,a]==0) then{
        printf"non visitato" >r.txt;
    }
    else{
        printf"visitato il giorno %d ", (sum{a in A, h in 1..d, t in T} t*x[p,t,h,a]) >r.txt;
        printf"inizio visita: %d ", (sum{t in T, h in 1..d, a in A} h*x[p,t,h,a]) >r.txt;
        printf"fine visita: %d ", (sum{t in T, h in 1..d, a in A} (h+v[p])*x[p,t,h,a]) >r.txt;
        printf"attesa: %d slot ", C[p]-v[p]-f[p] >r.txt;
        printf"preferenza: " >r.txt;
        if (lambda[p]==1) then{

```

```

        printf"letto " >r.txt;
    }
    else{printf"poltrona " >r.txt;
    }
    printf"assegnato: " >r.txt;
    if (lambda[p]==1) then{
        printf"letto " >r.txt;
    }
    else{
        if (sum{t in T, h in H} zP[p,t,h] == 1) then{
            printf"poltrona " >r.txt;
        }
        else{printf"letto " >r.txt;
        }
    }
    printf"inizio infusione: %d ",(sum{t in T, h in H} h*y[p,t,h])
>r.txt;
    printf"fine infusione: %d ",(sum{t in T, h in H} (h+f[p])*y[p,t,h])
>r.txt;
    }
}

# ambulatori
printf"\n\nUTILIZZO DEGLI AMBULATORI\n" >r.txt;
for{a in A}{
    printf"\nAmbulatorio %d",a >r.txt;
    for{t in T}{
        printf"\ngiorno %d (patologia ",t >r.txt;
        for{k in K}{
            if(w[a,k,t]==1) then{
                printf"%s): ",k >r.txt;
            }
        }
        printf"%3.2f\% - ",100*(sum{p in P, h in 1..d}v[p]*x[p,t,h,a])/d
>r.txt;
        for{h in 1..d}{
            printf"%1.0d ",sum{p in P, q in 1..h: q >= h+1-v[p]}
x[p,t,q,a] >r.txt;
        }
    }
}

```

```

# letti per infusione
printf"\n\nLETTI PER INFUSIONE (MAX %d)",MaxLambda >r.txt;
for{t in T}{
    printf"\ngiorno %1.0d: ",t >r.txt;
    printf"(max %d) ",(max{h in H} (sum{p in P, q in 1..h: lambda[p]=1 and q
    >= h+1-f[p]} y[p,t,q] + sum{p in P, q in 1..h: pi[p]=1 and q >= h+1-f[p]}
    zL[p,t,q])) >r.txt;
    for{h in H}{
        printf"%2.0d ",(sum{p in P, q in 1..h: lambda[p]=1 and q >= h+1-
        f[p]} y[p,t,q] + sum{p in P, q in 1..h: pi[p]=1 and q >= h+1-f[p]} zL[p,t,q])
        >r.txt;
    }
}

```

```

# poltrone per infusione
printf"\n\nPOLTRONE PER INFUSIONE (MAX %d)",MaxPi >r.txt;
for{t in T}{
    printf"\ngiorno %1.0d: ",t >r.txt;
    printf"(max %d) ",(max{h in H} (sum{p in P, q in 1..h: pi[p]=1 and q >=
    h+1-f[p]} zP[p,t,q])) >r.txt;
    for{h in H}{
        printf"%2.0d ",(sum{p in P, q in 1..h: pi[p]=1 and q >= h+1-f[p]}
        zP[p,t,q]) >r.txt;
    }
}

```

#####

```

# scrivo risultati sintetici

```

```

# numero pazienti totali
printf" %3.0f ",ptot >sintesi.txt;

```

```

# numero pazienti visitati (lower bound per problema 1)
printf" %3.0f ",card(Pvisitati) >sintesi.txt;

```

```

# best (upper) bound per problema 1
printf" %3.0f ",NumeroVisite.bestbound >sintesi.txt;

```

```

# gap per problema 1
printf" %4.2f\% ",100*(NumeroVisite.bestbound - NumeroVisite)/NumeroVisite
>sintesi.txt;

```



```

# CPU time per problema 1
printf" %4.2f ",timep1 >sintesi.txt;

# soluzione trovata (upper bound) per problema 2
printf" %3.0f ",TempoPermanenza >sintesi.txt;

# best (lower) bound per problema 2
printf" %3.0f ",TempoPermanenza.bestbound >sintesi.txt;

# gap per problema 2
printf" %4.2f\% ",100*(TempoPermanenza -
TempoPermanenza.bestbound)/TempoPermanenza.bestbound >sintesi.txt;

# CPU time per problema 2
printf" %4.2f ",timep2 >sintesi.txt;

# soluzione trovata (lower bound) per problema 3
printf" %3.0f ",PrefPoltrona >sintesi.txt;

# numero pazienti che possono usare le poltrone
printf" %3.0f ",(sum{p in P} pi[p]) >sintesi.txt;

# best (upper) bound per problema 3
printf" %3.0f ",PrefPoltrona.bestbound >sintesi.txt;

# gap per problema 3
printf" %4.2f\% ",100*(PrefPoltrona.bestbound - PrefPoltrona)/PrefPoltrona
>sintesi.txt;

# CPU time per problema 3
printf" %4.2f ",timep3 >sintesi.txt;

# tempo medio in ospedale dei pazienti non ematologici
printf" %2.2f ",(sum{p in Pvisitati: alpha[p,'EM']=0} C[p])/card({p in
Pvisitati: alpha[p,'EM']=0}) >sintesi.txt;

# tempo medio in ospedale dei pazienti ematologici
printf" %2.2f ",(sum{p in Pvisitati: alpha[p,'EM']=1} C[p])/card({p in
Pvisitati: alpha[p,'EM']=1}) >sintesi.txt;

# tempo medio di attesa dei pazienti non ematologici

```

```

printf" %2.2f ",(sum{p in Pvisitati: alpha[p,'EM']=0} (C[p]-f[p]-v[p]))/card({p
in Pvisitati: alpha[p,'EM']=0}) >sintesi.txt;

# tempo medio di attesa dei pazienti ematologici
printf" %2.2f ",(sum{p in Pvisitati: alpha[p,'EM']=1} (C[p]-f[p]-v[p]))/card({p
in Pvisitati: alpha[p,'EM']=1}) >sintesi.txt;

# tempo max di attesa dei pazienti non ematologici
printf" %2.0f ",max({p in Pvisitati: alpha[p,'EM']=0} (C[p]-f[p]-v[p]))
>sintesi.txt;

# tempo max di attesa dei pazienti ematologici
printf" %2.0f ",max({p in Pvisitati: alpha[p,'EM']=1} (C[p]-f[p]-v[p]))
>sintesi.txt;

# tasso utilizzo ambulatori non ematologici
printf" %3.2f\% ",100*(sum{a in 1..3, t in T, p in P, h in 1..d}
v[p]*x[p,t,h,a])/(d*3*card(T)) >sintesi.txt;

# tasso utilizzo ambulatori ematologici
printf" %3.2f\% ",100*(sum{a in 4..6, t in T, p in P, h in 1..d}
v[p]*x[p,t,h,a])/(d*3*card(T)) >sintesi.txt;

# tasso utilizzo poltrone
printf" %3.2f\% ",100*(sum{t in T, h in H, p in P, q in 1..h: pi[p]=1 and q >=
h+1-f[p]} zP[p,t,q])/(M*card(T)*MaxPi) >sintesi.txt;

# tasso utilizzo letti
printf" %3.2f\% ",100*(sum{t in T, h in H, p in P, q in 1..h: lambda[p]=1 and q
>= h+1-f[p]} y[p,t,q] + sum{t in T, h in H, p in P, q in 1..h: pi[p]=1 and q >=
h+1-f[p]} zL[p,t,q])/(M*card(T)*MaxLambda) >sintesi.txt;

# ultimo istante inizio infusione:
printf" %d \n", (max{p in P} (sum{t in T, h in H} h*y[p,t,h])) >sintesi.txt;

```

CODICE PYTHON

Istanza_correction.py:

```

import os
import re
import random

```

```

def pathology_from_index(index):
    po = '0 0 0 0 0 0 1'
    gi = '0 1 0 0 0 0 0'
    ma = '0 0 0 0 1 0 0'
    gy = '0 0 0 1 0 0 0'
    gu = '0 0 1 0 0 0 0'
    em = '1 0 0 0 0 0 0'
    ot = '0 0 0 0 0 1 0'
    aux = ""

    if index == 1:
        aux = po
    elif index == 2 or index == 3:
        aux = gi
    elif index == 4 or index == 7 or index == 8 or index == 9 \
        or index == 13 or index == 14 or index == 15 or index == 16:
        aux = ot
    elif index == 5:
        aux = em
        bed = True
    elif index == 6:
        aux = gu
    elif index == 10:
        aux = gu
    elif index == 11:
        aux = gy
    elif index == 12:
        aux = ma

    return aux

```

```

def pathology_from_name(s):
    po = 'PO'
    gi = 'GI'
    ma = 'MA'
    gy = 'GY'
    gu = 'GU'
    em = 'EM'
    ot = 'OT'
    aux = ""
    if s == "a":
        aux = po

```

```

elif s == "b1" or s == "b2":
    aux = gi
elif s == "b3" or s == "e" or s == "f" or s == "g" \
    or s == "k" or s == "l" or s == "m" or s == "z":
    aux = ot
elif s == "c":
    aux = em
elif s == "d":
    aux = gu
elif s == "h":
    aux = gu
elif s == "i":
    aux = gy
elif s == "j":
    aux = ma
return aux

```

```

def macro_pathology(arg):
    # N a b1 b2 b3 c d e f g h i j k l m z
    # 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16
    args = re.split('\s', arg)
    args = list(filter(None, args))
    args[len(args)-1] = args[len(args)-1].replace(";", "")
    index = args.index("1", 1, len(args))

    return args[0] + " " + pathology_from_index(index) + "\n"

```

```

def time_conversion(arg):
    args = re.split('\s', arg)
    args = list(filter(None, args))
    args[1] = str(int(args[1]) * 6)

    if "0.33" in args[2]:
        args[2] = "2"
    elif "0.167" in args[2]:
        args[2] = "1"
    return str(args[0]) + " " + args[1] + " " + args[2] + "\n"

```

```

def macro_room(arg):
    skip = False
    args = arg.replace("[", "")
    args = args.replace("]", "")

```

```

args = args.replace(",", "")
args = args.replace(";", "")

args = re.split('\s', args)
args = list(filter(None, args))

if args[0] == "7":
    return ""

if args[1] == "b2" or args[1] == "h" or args[1] == "e"\
    or args[1] == "f" or args[1] == "g" or args[1] == "k"\
    or args[1] == "l" or args[1] == "m" or args[1] == "z":
    skip = True
args[1] = pathology_from_name(args[1])

if skip:
    return ""

return "[" + args[0] + ", " + args[1] + ", " + args[2] + "]" + " " + " " +
args[3] + "\n"

# pi=poltrona  lambda=letto
def set_letto():
    return "      0 1\n"
def set_poltrona():
    return "      1 0\n"
def decision(p) -> bool:
    return random.random() < p
def poltrona_letto(x):
    ret = re.split('\s', x)
    ret = list(filter(None, ret))
    id_paziente = ret[0]
    is_EM = ret[5] == "1"
    if is_EM:
        if decision(0.35):
            return id_paziente + set_letto()
        else:
            return id_paziente + set_poltrona()
    else:
        if decision(0.85):
            return id_paziente + set_poltrona()
        else:

```

```
        return id_paziente + set_letto()
```

```
def put_semi(file):  
    file.write(";\\n")
```

```
def correct(f):  
    f_read = open("ist_Lacommare/" + f, "r")  
    f_write = open("ist_correct/" + "corr_" + f, "w+")  
  
    if f_read.mode == 'r':  
        fl = f_read.readlines()  
        in_path = False  
        in_time = False  
        in_assegnamento = False  
        semi = False  
        str_pi_lam = ""  
  
        for x in fl:  
            if in_path:  
                if ";" in x:  
                    in_path = False  
                    semi = True  
                    f_write.write(macro_pathology(x))  
                    str_pi_lam = str_pi_lam + poltrona_letto(x)  
  
            if in_time:  
                if ";" in x:  
                    in_time = False  
                    semi = True  
                    f_write.write(time_conversion(x))  
  
            if in_assegnamento:  
                if ";" in x:  
                    in_assegnamento = False  
                    semi = True  
                    f_write.write(macro_room(x))  
  
            if semi:  
                put_semi(f_write)  
                semi = False  
  
            if "param ptot" in x:
```

```

        f_write.write(x)

    if "set K" in x:
        f_write.write("set K := EM GI GU GY MA OT PO;\n")

    if "set T" in x:
        f_write.write(x)

    if "set L" in x:
        f_write.write("set A := 1 2 3 4 5 6;\n")

    if "param d" in x:
        f_write.write("param d := 36;\n")

    if "N" in x:
        f_write.write("param MaxPi := 26;\nparam MaxLambda := 27;\n")

    if "M2" in x:
        f_write.write("param M := 54;\n")
        f_write.write("param: pi lambda :=\n" + str_pi_lam + ";\n")

    if "param s:" in x:
        in_path = True
        f_write.write("param alpha: EM GI GU GY MA OT PO:=\n")
    if "param:" in x:
        in_time = True
        f_write.write("param:  f  v:=\n")
    if "param w" in x:
        in_assegnamento = True
        f_write.write("param  w:=\n")

    f_write.close()
    print("Correzione file " + f + " completata.")
    return

def main():
    for f in os.listdir("ist_Lacommare"):
        correct(f)

if __name__ == "__main__":
    main()

```

gantt_chart.py:

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import datetime as dt

def datetime_conversion(giorno, ts):
    day0 = pd.to_datetime('2018-01-01 08:00')
    h = ts // 6
    m = (ts % 6) * 10
    ret = day0 + pd.Timedelta(days = giorno) + pd.Timedelta(hours = h) +
pd.Timedelta(minutes = m)
    return ret

def gantt_chart(df, start_time, end_time):
    # creazione di un diagramma a barre orizzontale con Pazienti sulla y
    # che inizia dall'inizio ed ha lunghezza della durata
    min10 = pd.to_timedelta(10, unit="min") #tempo della visita a 10 minuti
    plt.barh(y=df.Paziente, left=df.inizio, width=min10, color='blue')
    plt.barh(y=df.Paziente, left=df.inizio+min10,
width=pd.to_timedelta(df['attesa']*10, unit='minutes'), color='red')
    plt.barh(y=df.Paziente, left=df.inizio+pd.to_timedelta(df['attesa']*10,
unit='minutes')+min10, width=df.durata-min10-pd.to_timedelta(df['attesa']*10),
color='green')

    p_start = df.inizio.min()
    p_end = df.fine.max()
    p_duration = (p_end - p_start)

    # TODO: set the range matching the dates...
    idx = pd.date_range(start_time, end_time, freq='h')

    x_ticks = idx
    x_labels = x_ticks.strftime('%H:%M')

    plt.xticks(ticks=x_ticks, labels=x_labels)
    plt.grid(axis='x', alpha=0.5)
    plt.gca().invert_yaxis()

    plt.show()

def main():
```



```

# 2017-03-22 15:16:45
df = pd.read_json('new_r.json')
day0 = pd.to_datetime('2018-01-01 08:00')
df = df[df['visitato'] == True]

# creazione dei tempi di inizio e fine
df['inizio'] = day0 + pd.to_timedelta(df['giorno'], unit='D') +
pd.to_timedelta(df['ts_inizio']*10, unit='minutes')
df['fine'] = day0 + pd.to_timedelta(df['giorno'], unit='D') +
pd.to_timedelta(df['ts_fine']*10, unit='minutes')
df['durata'] = df.fine - df.inizio

# ordinamento in base al momento di inizio (data e ora)
df = df.sort_values(by= 'inizio', ascending = True)

print(df)

df_day1 = df[df['giorno'] == 1]
#print(df_day1)
df_day2 = df[df['giorno'] == 2]
#print(df_day2)
df_day3 = df[df['giorno'] == 3]
#print(df_day3)
df_day4 = df[df['giorno'] == 4]
#print(df_day4)
df_day5 = df[df['giorno'] == 5]
#print(df_day5)

ganttt_chart(df_day1, '2018-01-02 07:30', '2018-01-02 17:30')
ganttt_chart(df_day2, '2018-01-03 07:30', '2018-01-03 17:30')
ganttt_chart(df_day3, '2018-01-04 07:30', '2018-01-04 17:30')
ganttt_chart(df_day4, '2018-01-05 07:30', '2018-01-05 17:30')
ganttt_chart(df_day5, '2018-01-06 07:30', '2018-01-06 17:30')

if __name__ == "__main__":
    main()

```