Il sistema modellato consiste in una serie di code per gestire i pazienti che necessitano di un trapianto di organi. Ci sono diverse fasi nel processo di trapianto, ognuna delle quali utilizza una propria coda.

1. La coda di registrazione è la prima coda con cui i pazienti che necessitano di un trapianto di organi vengono inseriti nel sistema. Qui, i pazienti registrati vengono messi in fila in base all'ordine di arrivo.
2. Dopo la registrazione, i pazienti passano alla coda di valutazione. In questa fase, il personale medico valuta la salute del paziente per determinare se è un candidato adatto per il trapianto di organi. I pazienti che non soddisfano i requisiti medici vengono rimossi dalla coda.
3. Una volta che un paziente viene valutato positivamente, viene inserito nella coda di assegnazione degli organi. In questa coda, ai pazienti viene assegnato un punteggio di priorità, in base alla gravità della loro situazione e alla disponibilità degli organi. I pazienti con il punteggio più alto sono i primi a cui viene assegnato un organo compatibile.
4. La coda di assegnazione degli organi è collegata alla coda di prelievo degli organi. Quando un organo compatibile è disponibile, viene prelevato e inserito nella coda di assegnazione degli organi. L'organo viene quindi assegnato al paziente con il punteggio di priorità più alto.
5. Infine, vi è la coda di trapianto. In questa fase, il paziente riceve il trapianto di organo e viene monitorato per garantire che il trapianto sia riuscito e che il paziente stia recuperando.

Descrizione preliminare del sistema/diagramma a code 🡪 POTREBBE ESSERE PARTE DEL MODELLO CONCETTUALE

Nota: a quanto pare non è corretto collegare direttamente due code senza servente.

I pazienti vengono inseriti nel sistema quando si presenta per questi la necessità di un trapianto di organo. Questi arrivano, quindi, con tasso avente distribuzione di Poisson e indipendente dagli altri arrivi, nella coda di registrazione.

Da questa coda, vengono selezionati secondo una politica FCFS per assegnare loro un tempo di pazienza , dove *i* sta per *i*-esimo paziente, in base all’urgenza con cui questi necessitano un trapianto, ed un tempo d’attesa previsto , in base alle condizioni di saturazione e/o disponibilità del sistema. Dopodiché, vengono spostati nella coda di valutazione.

È previsto che alla coda di valutazione arrivino tutti i pazienti che sono passati per la coda di registrazione, per cui il tasso d’arrivo in questa continua ad essere .

Dalla coda di valutazione, i pazienti sono prelevati dal personale medico secondo una disciplina FCFS per valutare la conformità delle caratteristiche del paziente ad un trapianto. In particolare, il paziente viene ammesso se e solo se

* , per cui il tempo d’attesa stimato risulta al massimo di 1 unità di tempo o, in altre parole, l’organo per il paziente è già disponibile e potrà essere operato in breve tempo.
* , cioè il paziente deve attendere in coda, ma la sua pazienza è abbastanza da permettergli di ottenere un trapianto prima del decesso.

È da notare come il tempo d’attesa stimato non sia poi effettivamente quello che i pazienti sperimenteranno, poiché questo è dovuto ad altri fattori indipendenti, come la disponibilità di organi compatibili, l’aggravarsi delle condizioni di altri pazienti, che perciò acquisteranno maggiore priorità o l’arrivo in massima priorità di un paziente che ha subito un rigetto post-trapianto. Perciò, anche se un paziente viene inserito in lista d’attesa, questo non garantisce che non ne esca per decesso prima di ottenere il trapianto.

Il servizio di valutazione, inoltre, ha il compito di analizzare le condizioni del paziente al fine di assegnare a questo un punteggio di priorità. Questa dipendera dalla pazienza del paziente e potrà essere di due tipi: normale (N), quando , o alta (H), se : è un soglia configurabile.

[È possibile che tutta questa parte preliminare non sia necessaria per il progetto se gli obiettivi coinvolgono esclusivamente la parte successiva, come minimizzare i decessi in lista d’attesa, ridurre i tempi d’attesa o l’equità tra i pazienti. Se questa prima parte viene rimossa, allora i tassi d’arrivo al sistema sono due, uno per la coda H e uno per la coda N, e ciascun paziente entra in coda con il proprio tempo di pazienza assegnato a priori.]

Naturalmente, quando i pazienti nella coda N raggiungono un punto in cui la loro pazienza diminuisce sotto la soglia , cioè le loro condizioni si aggravano, eseguono un salto di priorità e vengono spostati nella coda H, secondo un processo di auto-promozione. Il tempo di pazienza, tuttavia, non è lineare: rappresenta le condizioni di salute del paziente, perciò può restare costante per un certo periodo di tempo o diminuire vertiginosamente anche all’improvviso. [che legge segue ??? + come modellare il salto di priorità nel diagramma???].

Il sistema gestisce anche una terza coda d’attesa, quella riservata ai pazienti che, durante il periodo di degenza post-trapianto, hanno subito un rigetto e, perciò, ottengono priorità massima (M).

Dalle code M ed H, i pazienti possono uscire solo perché selezionati per un trapianto o a causa di un decesso, mentre, nel caso della coda N, per i pazienti sono previste le possibilità di trapianto, auto-promozione alla coda H o recupero nelle condizioni di salute, tanto da non necessitare più un trapianto. In quest’ultimo caso, il paziente esce dal sistema.

Parallelamente alle code dedicate ai pazienti, il sistema modella anche la coda relativa alla banca degli organi. Gli arrivi degli organi alla banca sono indipendenti e hanno tasso di Poisson. Questi organi “*on-the-shelf*” possono essere considerati come elementi di un PIS (*perishable inventory system*), poiché deve essere considerato un periodo oltre il quale l’organo non potrà più essere utilizzato per un trapianto, ovvero un periodo di scadenza associato ad ogni organo e dipendente dalla tipologia dell’organo stesso. [In particolare, poiché è variabile, vengono effettuati controlli periodici degli organi disponibili, in cui un organo sarà ritenuto scaduto con probabilità . ???].

La coda degli organi e quelle dei pazienti sono collegate nel servizio di matching. Idealmente, un trapianto può avvenire quasi immediatamente all’arrivo di un organo compatibile per un paziente in lista, in ordine di priorità, o all’arrivo di un paziente compatibile con un organo *on-the-shelf*. [Double matching queue???]. Questa fase di matching può essere modellata considerando gli organi disponibili come i serventi e i pazienti come i clienti: l’organo più “vecchio” di un determinato gruppo sanguigno è il servente libero in attesa di una richiesta di quell’organo per un ricevente di quello stesso gruppo sanguigno. Quando l’organo scade prima di poter servire un paziente, lascia il centro ed il suo posto viene preso dall’eventuale organo più vecchio ancora disponibile nella banca. Se non vi sono organi disponibili nella banca per un certo gruppo sanguigno, allora è come se il servente fosse inattivo.

[Alternativa. I serventi di matching sono inattivi fintanto che non vi sono contemporaneamente nel sistema un organo disponibile di un determinato gruppo sanguigno e una richiesta compatibile, in ordine di priorità. Quando questa condizione è soddisfatta, viene effettuato il matching tra organo e paziente e la coppia è trasferita nella coda di trapianto.]

I serventi di matching sono uno per gruppo sanguigno, invece che un unico servente, poiché richieste o offerte per un organo di gruppi sanguigni diffenti sono considerate indipendenti, nei limiti della compatibilità tra gruppi sanguigni.

[Ci potrebbe essere un thread per l’arrivo dei pazienti e uno per l’arrivo degli organi: quello dei pazienti controlla la presenza di richieste uguali nelle code a più alta priorità di lui e, successivamente, cerca disponibilità degli organi se non ci sono pazienti simili in attesa; quello degli organi cerca pazienti compatibili nelle code, dalla priorità più alta alla più bassa, perché non è possibile che vi sia un organo simile nella banca se ci sono pazienti in attesa di questo].

Ovviamente, le liste d’attesa contengono richieste specifiche per diversi organi, quindi il matching dovrebbe includere anche il controllo sul tipo di organo. Per non complicare ulteriormente il sistema, qui consideriamo un organo generico *X*, di un unico tipo (e.g. rene, fegato, ecc…). [Durante la simulazione vera scegliamo un organo specifico e usiamo i dati di quello].

La coda di trapianto rappresenta, quindi, un paziente che sta per essere operato nell’immediato futuro. Quindi sarà servita, idealmente, in ordine FCFS [I dati che abbiamo sono relativi a tutti gli USA credo, quindi ogni ospedale opererà a modo suo, ma non è importante ai fini dell’analisi].

Il trapianto, il cui tempo di servizio è generalmente trascurabile per i nostri scopi, può avere due esiti: il paziente muore durante l’operazione ed esce dal sistema [l’organo che gli si stava per trapiantare potrebbe essere ancora buono… rientro in coda?], oppure l’operazione ha successo ed il paziente viene tenuto in una coda di monitoraggio per un periodo di degenza di qualche giorno.

La coda di monitoraggio fornisce tempo d’attesa con un limite massimo noto (il periodo di degenza), ma può risultare inferiore se il paziente risente di una ricaduta delle condizioni di salute a causa di un rigetto dell’organo. Il servizio relativo a questa coda, quindi, segue una politica di tipo *Sickest Patient First*, come nel caso dei trapianti, quando ci sono pazienti in cui avviene un rigetto, e FIFO quando non ci sono pazienti con un rigetto. [Mettere due serventi, uno per il rigetto e uno per l’uscita?? Non ha molto senso]. Anche qui, il servizio è trascurabile, poiché il paziente può uscire immediatamente dopo il periodo di degenza o rientrare immediatamente nella coda M se ha un rigetto. In caso di morte in seguito a un rigetto, il paziente esce dal sistema mentre si trova nella coda M. [Invece della coda di monitoraggio mettere direttamente un servente con tempo di servizio costante pari al periodo di degenza? Allora come modellare il rigetto?]