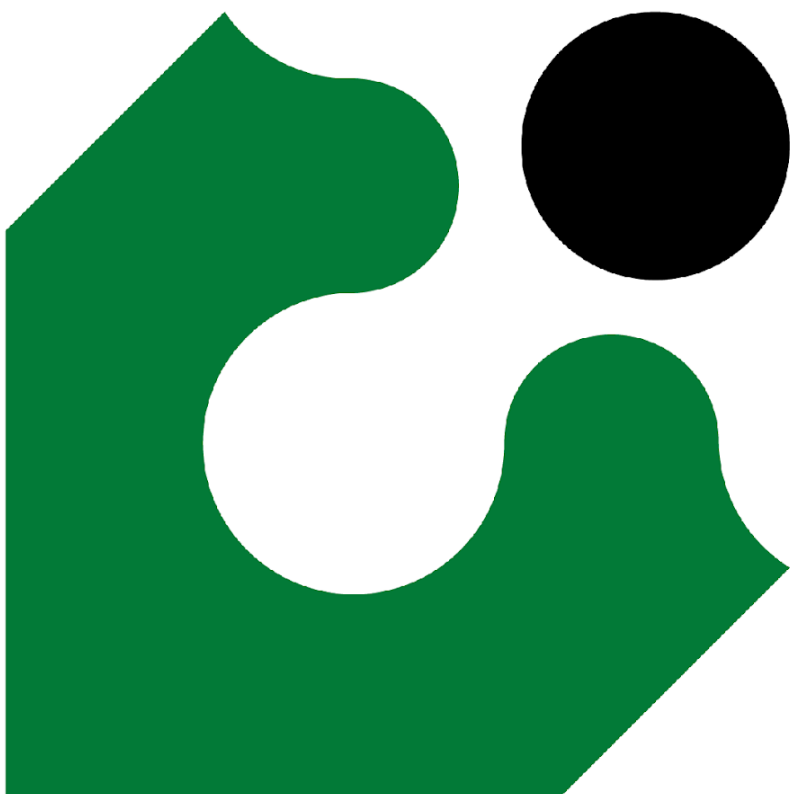


Efficientamento della programmazione  
operatoria chirurgica mediante intelligenza  
artificiale predittiva

Pasquale Capaccio

**Corso di formazione manageriale per  
Dirigenti di Struttura Complessa**

anno 2023/2024



# **Corso di formazione manageriale per Dirigente di struttura complessa**

Codice edizione UNIMI DSC 2301/CE

Ente erogatore

Università degli Studi di Milano

## **GLI AUTORI**

*Pasquale Capaccio, Professore Associato di Otorinolaringoiatria, Università degli Studi di Milano,  
Direttore Struttura Complessa di Otorinolaringoiatria – Presidio Ospedaliero Fatebenefratelli di Milano  
pasquale.capaccio@unimi.it*

## **Il docente di progetto**

*Anna Prenestini, Professore Associato di Economia Aziendale, Università degli Studi di Milano*

## **Il Responsabile didattico scientifico**

*Federico Lega, Professore Ordinario di Economia Aziendale, Università degli Studi di Milano*

Pubblicazione non in vendita.

Nessuna riproduzione, traduzione o adattamento  
può essere pubblicata senza citarne la fonte.

Copyright® PoliS-Lombardia

**PoliS-Lombardia**

Via Taramelli, 12/F - 20124 Milano

[www.polis.lombardia.it](http://www.polis.lombardia.it)

## INDICE

INDICE	3
INTRODUZIONE	4
OBIETTIVI STRATEGICI E SPECIFICI DEL PROGETTO	8
DESTINATARI/BENEFICIARI DEL PROGETTO	10
METODOLOGIA ADOTTATA	12
DESCRIZIONE DEL PROGETTO, IMPLEMENTAZIONE DEL PROCESSO, FASI E TEMPISTICHE	12
ANALISI DEI COSTI DI IMPLEMENTAZIONE O REALIZZAZIONE	28
RISULTATI ATTESI	31
CONCLUSIONI	33
RIFERIMENTI NORMATIVI	34
BIBLIOGRAFIA	35

## INTRODUZIONE

In un panorama sanitario che si evolve rapidamente, la programmazione operatoria chirurgica rappresenta un barometro dell'efficienza ospedaliera. La sfida di coordinare risorse limitate con la crescente domanda di interventi chirurgici esige soluzioni innovative e robuste. Il *project work* che presentiamo, intitolato "Efficientamento della programmazione operatoria chirurgica mediante intelligenza artificiale predittiva", si inserisce in questo contesto con un obiettivo ambizioso: trasformare il paradigma attuale di pianificazione operatoria, che si basa su stime approssimative e processi manuali, in un sistema guidato da algoritmi predittivi capaci di processare una molteplicità di variabili in tempo reale.

L'incremento dell'efficienza delle attività di sala operatoria si collega al miglioramento della gestione delle liste di attesa. Infatti l'efficientamento delle performance operatorie ha un risvolto positivo sui tempi di attesa. Questa tematica acquista un'enorme importanza soprattutto nel panorama attuale in cui vi è l'esigenza di recuperare i numerosi interventi sospesi durante la pandemia. Il Ministero ha redatto il documento "Linee di indirizzo per il governo del percorso del paziente chirurgico programmato" (Conferenza permanente per i rapporti tra Stato, Regioni e Province autonome di Trento e Bolzano, luglio 2020) con l'obiettivo di rendere più efficienti i blocchi operatori degli ospedali nazionali, ridurre i costi, aumentare la sicurezza per pazienti ed operatori, garantire un appropriato, equo e tempestivo accesso dei cittadini a tale percorso. E' in corso il monitoraggio dell'attuazione delle "Linee di indirizzo per il governo del percorso del paziente chirurgico programmato" al fine di rilevare le criticità e fornire indicazioni per uniformare le modalità operative. I principi fondamentali di tale monitoraggio sono:

- La garanzia del rispetto della trasparenza delle liste di attesa e dei tempi di attesa previsti dalla normativa;
- L'informatizzazione dell'intero percorso chirurgico;
- La raccolta ed il monitoraggio dell'intero percorso chirurgico;
- La conoscenza ed il rispetto delle pratiche di sicurezza nella gestione delle sale operatorie;
- La capacità di rendicontare le proprie performance utilizzando indicatori efficaci e condivisi.

Nonostante l'attenzione posta alle indicazioni ministeriali a tutt'oggi permangono alcune criticità correlate all'utilizzo ottimale delle sale operatorie tra cui la mancanza di slot di sala e percorsi separati tra chirurgia elettiva e urgente/emergente, la presenza di sale operatorie utilizzate da singole specialità e non in modo multifunzionale, l'inadeguato utilizzo della *recovery room*, l'incoordinato percorso di trasporto del paziente dalle sale di degenza alle sale operatorie, l'utilizzo insufficiente della *Day Surgery*. A queste si associano problematiche correlate alle caratteristiche cliniche del paziente chirurgico quali età, comorbidità (diabete, ipertensione, cardiopatie, ecc.), allergie (ad es. Latex), complessità della procedura chirurgica, necessità di terapia intensiva postoperatoria, necessità di utilizzo intraoperatorio di dispositivi strumentali (monitoraggio nervo facciale o vago, protezione del

device nei portatori di pace maker). Infine, nella programmazione operatoria chirurgica occorre porre attenzione ai tempi intraoperatori diversi necessari per espletamento di nuove procedure chirurgiche quali la robotica, la esoscopia 3D e la chirurgia *imaging*-guidata che impattano sul tempo chirurgico finale.

Al fine di ottimizzare il percorso operatorio chirurgico il Ministero ha individuato una serie di indicatori per il monitoraggio della fase preoperatoria, operatoria e postoperatoria. Gli indicatori della fase preoperatoria sono la consistenza della lista di attesa, il tempo di attesa per classe di priorità, il numero di pazienti oltre soglia, il tempo di preparazione, l'utilizzo del prericovero, il tempo di idoneità, il tempo per la chiamata al prericovero, il tempo di degenza preoperatoria. La fase intraoperatoria è anch'essa regolata da una serie di indicatori. Grazie ai tempi rilevati, è possibile calcolare gli indicatori intraoperatori che descrivono l'efficienza del processo. Gli indicatori individuati sono: la *raw utilization*, la *start-time tardiness*, *over-time*, *under utilization*, *turnover time*, tempo medio chirurgico, tempo medio anestesilogico, numero interventi per slot, *touch me*, tasso di casi cancellati, percentuale pazienti inviati in *recovery room*, percentuale di pazienti inviati in terapia intensiva, tasso di utilizzo programmato, *turnover time* prolungati, *raw utilization* per la so in urgenza, numeri casi in urgenza in sessione elettiva, fuori sessione, *value added time*. Infine gli indicatori individuati per la fase postoperatoria sono il tasso di reingressi in sala operatoria, il tasso di conversione da regime di day surgery a ricovero ordinario, il tempo di degenza postoperatoria, i riammessi in RR/tipo entro 24h, i pazienti ricoverati in RR/tipo non previsti, il paziente in tipo da Pacu-RR. Attraverso la valutazione degli indicatori è possibile controllare che gli interventi effettuati per migliorare l'efficienza non incidano in modo negativo sull'efficacia della procedura chirurgica, ma al contrario possono aumentarla. Il valore del progetto di intelligenza artificiale proposto, che prende spunto da tutti gli indicatori di performance sinora descritti, risiede nella sua capacità di migliorare significativamente la gestione dei pazienti, minimizzando i tempi morti e ottimizzando l'uso delle sale operatorie. Attraverso un sofisticato modello di intelligenza artificiale, si prevede non solo un matching personalizzato e dinamico tra paziente e team chirurgico ma anche una stima accurata della durata degli interventi, considerando fattori quali l'esperienza del chirurgo, il grado di complessità clinica e le condizioni specifiche del paziente. Questo approccio sistematico è *data-driven* si prefigge di garantire un incremento della quantità e della qualità delle cure, riducendo i tempi di attesa per i pazienti e massimizzando le performance del personale medico e della struttura. La metodologia di implementazione del progetto prevede un'attenta selezione di profili professionali specializzati in IA, un rigoroso processo di integrazione e pulizia dei dati e la conformità con le normative sulla privacy e protezione dei dati. La finalità ultima è quella di creare un impatto positivo misurabile sia a livello di singoli pazienti, ottimizzando l'esito degli interventi e la loro degenza, sia a livello di sistema sanitario, contribuendo a un circolo virtuoso di efficienza e sostenibilità. Inizialmente focalizzato sul reparto di otorinolaringoiatria, il progetto ha la potenzialità di essere esteso ad altre specialità, adattandosi e scalando in base alle specificità di ciascun contesto chirurgico e integrando le più avanzate tecnologie. L'ambizione è quella di posizionarsi all'avanguardia nell'innovazione della gestione ospedaliera, ponendo le basi per un modello sanitario che guarda al futuro con fiducia e responsabilità.

Nella valutazione dei punti di forza, debolezze, opportunità e minacce relative a un progetto, uno strumento strategico applicabile è l'analisi SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*).

#### *STRENGTHS (Punti di Forza)*

Innovazione Tecnologica: L'utilizzo di un modello predittivo basato sull'IA per la gestione delle sale operatorie colloca il progetto all'avanguardia dell'innovazione.

## Efficientamento della programmazione operatoria chirurgica mediante intelligenza artificiale predittiva

Miglioramento dell'Assistenza al Paziente: Grazie alla riduzione dei tempi di degenza, i pazienti beneficiano di un'uscita più rapida dall'ospedale con cure di qualità migliore, minori rischi e complicazioni.

Utilizzo delle Sale Operatorie: Il progetto consentirà un miglioramento nell'uso delle sale operatorie, aumentando la possibilità di trattare più pazienti e, di conseguenza, riducendo il carico di lavoro del personale.

### *WEAKNESSES (Debolezze):*

Barriere all'Implementazione e all'Integrazione: Nei contesti ospedalieri, l'implementazione di qualsiasi sistema basato sull'IA può essere complicata; ogni sistema richiede una sua integrazione con quelli esistenti con un'adeguata formazione del personale.

Qualità e Integrità dei Dati: Sono fondamentali per l'efficacia dell'IA, rendendo il sistema sensibile alla qualità dei dati inseriti.

### *OPPORTUNITIES (Opportunità):*

Scalabilità: Il modello IA proposto offre la possibilità di essere implementato in altre discipline chirurgiche, potenziando la portata del progetto.

Ricerca e Sviluppo: I miglioramenti in termini di efficienza ed efficacia libereranno risorse da reinvestire in ricerca e sviluppo.

Leadership nel Settore: Con questo progetto, l'ospedale può assumere una posizione di leadership nel settore sanitario, incentivando altre organizzazioni a adattarsi e adottare nuove innovazioni e contribuire a stabilire standard ancora più elevati per l'industria.

### *Threats (Minacce):*

Sfide Normative: L'organizzazione deve aderire rigorosamente alle leggi vigenti sulla privacy e protezione dei dati, essendo attenta a ogni inadempienza che potrebbe esporla a rischi legali e danni alla reputazione.

Resistenza al Cambiamento: Il personale ospedaliero può mostrare resistenza all'adozione di nuove tecnologie, specialmente quelle che comportano spostamenti lavorativi o sono percepite come una minaccia alla loro routine o sicurezza lavorativa.

Limitazioni Tecnologiche: Esistono ancora limitazioni tecnologiche nell'ambito dell'IA in continua evoluzione che possono influenzare l'efficacia e l'applicazione conveniente dell'IA nei paesi in via di sviluppo.

L'analisi SWOT evidenzia come il progetto sia strategicamente posizionato per apportare miglioramenti significativi nell'efficienza della programmazione operatoria, , mostrando un forte potenziale per trasformare positivamente la gestione chirurgica e migliorare complessivamente l'efficienza e l'efficacia del sistema sanitario. Contemporaneamente, mostra come le opportunità di miglioramento e l'innovazione offerta dal progetto sono considerevoli, suggerendo che i benefici superano di gran lunga gli ostacoli iniziali.



## OBIETTIVI STRATEGICI E SPECIFICI DEL PROGETTO

### Obiettivi strategici

Lo scopo del *Project Work* è presentare un modello predittivo basato sull'intelligenza artificiale (IA) che rivoluzionerà l'amministrazione delle procedure chirurgiche, segnando un cambiamento di paradigma nell'efficienza e nell'efficacia dell'intero sistema ospedaliero. Questo modello mira a fornire soluzioni ai problemi operativi da diversi punti di vista, a beneficio dei pazienti, delle strutture e dell'intero sistema sanitario.

Per i pazienti, l'obiettivo è triplice. Primo, l'ottimizzazione nell'assegnazione degli operatori. Il sistema IA sarà progettato per garantire l'analisi più elevata e *data-driven*, che assicura il set ideale di team chirurgici per ogni paziente. Questo ha il potenziale di migliorare sia i risultati degli interventi sia di ridurre le complicanze. In secondo luogo, contribuisce alla riduzione dei tempi di attesa poiché l'IA può essere utilizzata per gestire le sale operatorie e accelerare l'accesso ai trattamenti medici necessari. Infine, migliorerà il successo degli interventi chirurgici ottimizzando le condizioni pre e post-operatorie, riducendo la degenza ospedaliera e aumentando le probabilità di successo delle procedure chirurgiche.

Per la struttura ospedaliera, l'obiettivo principale è aumentare il numero di pazienti che possono essere curati, migliorando così la programmazione delle sale operatorie e, di conseguenza, ottimizzando il budget annuale dell'ospedale. Questo è supportato da un accurato monitoraggio delle performance e da una equilibrata ripartizione del carico di lavoro, che insieme promuovono un ambiente lavorativo efficace e motivante per il personale. Ulteriormente, l'aumento dei ricavi generati dall'ottimizzazione delle operazioni ospedaliere fornisce fondi aggiuntivi, vitali per il reinvestimento in aree critiche come l'operatività dell'ospedale, la ricerca e lo sviluppo, e la formazione continua del personale, alimentando così un ciclo virtuoso di miglioramento e innovazione.

Dal punto di vista dell'intero sistema sanitario, si cerca un aumento della capacità di servire più pazienti, ridurre le liste d'attesa e ottimizzare l'utilizzo delle risorse sanitarie disponibili. Ciò considererà una pianificazione più efficiente, un maggiore utilizzo delle infrastrutture esistenti e, soprattutto, un miglioramento orientato al paziente e un'accelerazione dell'accesso alle cure. In altre parole, un tale modello predittivo basato sull'IA è un cambio di paradigma mirato all'ottimizzazione di ogni aspetto della gestione chirurgica in modo che l'esperienza del paziente sia migliore, l'efficienza operativa sia maggiore e i sistemi sanitari globali siano più capaci.

### Obiettivi Specifici

Sviluppo e integrazione del modello IA: questo obiettivo, coinvolge la progettazione, il test e l'utilizzo di algoritmi sofisticati che assisteranno criticamente nell'analisi dei dati storici e in tempo reale necessari per abilitare una previsione accurata delle durate chirurgiche e identificare più facilmente la combinazione esatta tra il paziente e il team chirurgico, tenendo conto della complessità del caso, della specialità del chirurgo coinvolto e della disponibilità di risorse.



## Efficientamento della programmazione operatoria chirurgica mediante intelligenza artificiale predittiva

Valutazione dell'impatto del sistema IA: Saranno condotti studi per misurare l'efficacia del modello IA nella riduzione dei tempi di attesa e nell'aumento dell'efficienza operativa. Questo obiettivo specifico è associato all'analisi quantitativa e qualitativa dei risultati, confrontando i dati pre e post implementazione per comprendere i miglioramenti reali prodotti dal sistema.

Monitoraggio e analisi dei dati per un miglioramento continuo: È necessario assicurare che un sistema di monitoraggio dei dati sia in atto per fornire un feedback continuo. I dati raccolti verranno normalmente sottoposti a revisione con l'obiettivo di identificare alcune delle aree di miglioramento. Ciò consentirebbe di adattare e perfezionare il modello IA nel tempo per garantirne l'utilità di fronte a cambiamenti demografici, tecnologici e nelle pratiche chirurgiche.

Espansione e scalabilità del modello: altri obiettivi specifici riguardano la progettazione del sistema IA in relazione alla scalabilità del modello. Questo include l'adattabilità del modello a diverse applicazioni di specializzazione chirurgica e la possibilità che il modello si integri in modo efficace con altre tecnologie e sistemi informativi. Ciò, quindi, produrrà un modello replicabile a beneficio di altre aree all'interno del servizio sanitario oltre alla chirurgia otorinolaringoiatrica.

In conclusione, questi obiettivi, strategici e specifici, delineano una visione complessiva per un progetto che mira a rivoluzionare la gestione delle sale operatorie e l'assistenza chirurgica. Ciò contribuirà significativamente a migliorare sia l'efficienza operativa, la sicurezza del paziente e la qualità dell'assistenza sanitaria. Il progetto stabilirà una base per il dispiegamento delle tecnologie predittive basate sull'IA il cui uso si prevede assisterà nello sfruttare la tecnologia e i dati per il miglioramento costante della salute e del benessere dei pazienti.

## DESTINATARI/BENEFICIARI DEL PROGETTO

### Destinatari

I principali destinatari del progetto sono due gruppi specifici:

1. **Pazienti affetti da patologie otorinolaringoiatriche:** Questi pazienti sono al centro del progetto. L'intelligenza artificiale predittiva mira a trasformare la loro esperienza chirurgica, assicurando interventi programmati con maggiore precisione, riducendo l'attesa e migliorando gli esiti post-operatori. Considerando le varie complessità delle condizioni otorinolaringoiatriche, il sistema AI promette di personalizzare l'approccio chirurgico per ciascun paziente, basandosi su un'analisi dettagliata del loro specifico quadro clinico (complessità della procedura chirurgica per tipo di patologia, ASA, età del paziente, storia clinica e comorbidità, BMI del paziente, allergia o reazioni a farmaci).
2. **Team chirurgici:** Questo gruppo include chirurghi, anestesisti, personale infermieristico e altri professionisti sanitari coinvolti direttamente nella cura del paziente. Per loro, il sistema predittivo si propone come uno strumento rivoluzionario per la pianificazione e l'esecuzione delle procedure chirurgiche; ad esempio verrà valutato l'impatto sulla durata di un intervento dell'esperienza e stile operatorio del chirurgo per una determinata procedura, la versatilità del chirurgo nell'uso di nuove tecnologie vs chirurgia tradizionale, il coordinamento dei chirurghi inseriti nel team, stanchezza e carichi di lavoro del chirurgo. L'ottimizzazione dei tempi operatori e la previsione accurata della durata degli interventi permetteranno di gestire meglio il carico di lavoro, aumentando l'efficienza operativa e migliorando la qualità dell'assistenza fornita.

### Beneficiari

L'ampliamento dei beneficiari rivela un impatto ancora più esteso:

- **Pazienti:** Oltre ai miglioramenti già menzionati, i pazienti beneficeranno di un sistema sanitario più reattivo e attento alle loro esigenze individuali. L'adozione di questa tecnologia AI ridurrà significativamente i tempi di attesa per le operazioni, diminuirà la durata delle degenze ospedaliere e limiterà le possibilità di cancellazioni o rinvii dell'ultimo minuto, contribuendo a un percorso di cura più fluido e meno stressante.
- **Operatori sanitari:** Il benessere degli operatori sanitari è fondamentale per la prestazione di cure di alta qualità. Grazie alla pianificazione migliorata e alla riduzione della pressione operativa, il personale sperimenterebbe meno stress e una maggiore soddisfazione lavorativa. Inoltre, l'intelligenza artificiale offre la possibilità di un apprendimento continuo attraverso l'analisi dei dati, contribuendo così al miglioramento delle competenze professionali e all'efficacia delle cure.
- **Struttura ospedaliera:** L'introduzione di questo sistema predittivo porterà a un incremento sostanziale dell'efficienza complessiva. Ciò si tradurrà in una capacità ampliata di trattare più pazienti, un miglioramento del flusso di lavoro, e un'ottimizzazione delle risorse disponibili. Inoltre, la capacità di monitorare le performance in tempo reale e di adattare rapidamente i piani

## Efficientamento della programmazione operatoria chirurgica mediante intelligenza artificiale predittiva

operativi in base ai dati analizzati contribuirà a un ambiente ospedaliero più dinamico, resiliente e orientato al futuro.

Estendendo ulteriormente il campo di applicazione, il progetto ha il potenziale di beneficiare non solo il reparto di otorinolaringoiatria, ma può essere adattato e scalato per includere altre specialità chirurgiche. L'approccio innovativo e le tecnologie impiegate possono essere trasferiti ad altri contesti, ampliando l'impatto del progetto a un'ampia gamma di pazienti e specializzazioni mediche, e contribuendo in ultima analisi a un sistema sanitario più efficiente, reattivo e sostenibile.

## METODOLOGIA ADOTTATA

La metodologia proposta per l'implementazione della piattaforma ottimizzazione degli slot operatori si fonda su tre fasi progettuali strategiche che uniscono competenze informatiche, analitiche e cliniche. Alcune attività di queste fasi sono state preventivamente affrontate in modo parziale durante le analisi preventive con fini esplorativi (prima raccolta ed esplorazione dati).

La natura innovativa e legata allo sviluppo di software del progetto rende la metodologia Agile ideale per guidare lo sviluppo del sistema per la schedulazione degli slot operativi.

La metodologia Agile è stata presentata del 2011 da Kent Beck, Robert C. Martin, Martin Flower e altri nel [Manifesto for Agile Software Development \(agilemanifesto.org\)](http://agilemanifesto.org). I metodi agili si contrappongono al modello a cascata (*waterfall model*) e ad altri modelli di sviluppo tradizionali, proponendo un approccio meno strutturato e focalizzato sul principio "*early & frequent delivery*", ovvero fornire ai clienti/utenti software funzionante e di qualità in tempi brevi e frequentemente. La formazione di team di sviluppo piccoli, multifunzionali e auto-organizzati, lo sviluppo iterativo e incrementale, la pianificazione adattiva e il coinvolgimento diretto e continuo del cliente nel processo di sviluppo sono alcune delle pratiche sostenute dai metodi agili. Dalla diffusione del Manifesto, diverse varianti di Agile sono state introdotte e customizzate alle varie *industry* con l'obiettivo di minimizzare il fallimento dei progetti creando software interagendo frequentemente con gli utilizzatori finali o i *product owner* e definendone le funzionalità in modo iterativo (a blocchi di qualche settimana di lavoro).

Ogni iterazione funge da progetto a sé stante e include tutte le componenti necessarie come la pianificazione, l'analisi dei requisiti, la progettazione, l'implementazione, i test e la documentazione.

## Descrizione del progetto, implementazione del processo, fasi e tempistiche

La metodologia Agile risulta estremamente funzionale quando bisogna sviluppare software le cui funzionalità non sono completamente chiare sin dall'inizio; tuttavia, è necessario definire una serie di requisiti fondamentali in una fase preliminare del progetto, per questo dividiamo il lavoro in tre fasi:

1. Identificazione dei Requisiti
2. Sviluppo del Modello
3. Monitoraggio

### FASE 1: Identificazione dei Requisiti

L'obiettivo di questa fase iniziale è quello di minimizzare il tempo "perso" durante la fase di sviluppo modello e predisporre tutti gli strumenti necessari per il team di sviluppo affinché possa portare a termine lo sviluppo del sistema.

- 1.1 **Identificazione Dati Necessari:** Nella prima fase di ricerca di dati rilevanti, viene attribuita grande importanza alla selezione delle informazioni che costituiranno il nucleo del nostro modello. Questo è molto rilevante per garantire che il sistema sia alimentato con dati di buona qualità e adeguati, in modo che le risorse esistenti possano essere ottimizzate e si possa realizzare un'efficacia nell'implementazione del progetto. In prima battuta, le informazioni critiche includeranno dati clinici, come ad esempio il dettaglio sullo stato di salute dei pazienti, le loro diagnosi, la storia degli interventi chirurgici, i risultati di laboratorio e diagnostici. Questi non solo forniranno una visione della complessità dei casi chirurgici, ma renderanno anche possibile prevedere le risorse necessarie per qualsiasi operazione chirurgica data. I dati operativi riguardanti la programmazione delle sale operatorie, la durata degli interventi e l'uso delle attrezzature sono fondamentali per l'ottimizzazione delle risorse e la riduzione dei tempi di attesa. Di uguale importanza sono i dettagli del personale—chirurghi, anestesisti e il gruppo infermieristico—in relazione alla loro esperienza e disponibilità. Queste sono informazioni necessarie per garantire un'eccellente abbinamento tra paziente e team chirurgico, mentre i dati personali dei pazienti aiutano a modellare le previsioni considerando le variabili individuali che potrebbero influenzare l'esito e soprattutto la durata degli interventi. Alcuni di questi sono raccolti da diverse fonti: dai sistemi di registrazione elettronica dei pazienti ai sistemi di prenotazione, e infine, alle banche dati del personale.
- 1.2 **Selezione del Team:** Selezionare un team competente è cruciale nel successo di un'iniziativa che richiede alto livello di specializzazione. In questa fase è necessario valutare in modo accurato le skills richieste per selezionare professionisti che possiedono l'expertise e che siano in grado di collaborare in ambiente Agile. In prima analisi, le figure necessarie sono:
  - *Data Scientist*: esperto nella modellazione dei dati, statistica, machine learning/deep learning ed AI più in generale;
  - *Data Engineer*: esperto nella raccolta dati da varie fonti, nella loro uniformazione e nella strutturazione di un Data Model in grado di rendere i dati accessibili e utilizzabili;
  - *AI Engineers*: esperto di industrializzazione di modelli AI;
  - *DevOps Engineer*: figura esperta nelle best-practice di sviluppo software, *testing* e *deployment* automatizzato;
  - *Tech Architect*: esperto di infrastrutture Cloud e in grado di mettere in piedi una architettura software scalabile, sicura, responsive e orientata ai micro-servizi;

- *UI/UX specialist*: figura esperta nel design e nello sviluppo di interfacce utente intuitive e funzionali per ridurre le frizioni iniziali degli utenti nell'utilizzo della nuova piattaforma;
- *Full-Stack Developer*: sviluppatore esperto sia di *Front-End* che di *Back-End*, in grado di portare in produzione la piattaforma su entrambi i fronti.
- *Project manager* (product owner e scrum master): figura funzionale in grado di dettare i tempi dell'agile e assicurarsi che il lavoro proceda secondo i piani.

Queste figure rappresentano ad alto livello ciò che serve in un contesto di questo tipo; tuttavia, possono essere ricoperte anche dalla stessa persona (e.g. un data scientist può fungere anche da *AI Engineer* qualora abbia esperienza nell'industrializzazione dei modelli, o un *DevOps Engineer* può avere esperienza anche nella definizione di architetture, ecc.)

Oltre a questi ruoli tecnici, il team dovrà includere figure professionali con una profonda conoscenza del settore sanitario, come medici, chirurghi, e personale infermieristico, i quali forniranno *insight* vitali sull'ambiente operativo e sulle esigenze degli utenti finali. Questa collaborazione interdisciplinare è essenziale per lo sviluppo di un sistema che sia non solo tecnologicamente avanzato ma anche pragmatico e adatto all'impiego in contesti chirurgici reali.

**1.3 Valutazione della Qualità dei Dati:** La valutazione della qualità dei dati rappresenta un tassello fondamentale nella fase preparatoria del nostro progetto. Questo processo non solo garantisce che i dati a disposizione siano di alta qualità e pertinenza per lo sviluppo del modello di intelligenza artificiale, ma identifica anche eventuali lacune o incoerenze che potrebbero compromettere l'affidabilità e l'efficacia del sistema. In primo luogo, è necessario analizzare le fonti dati, quindi a quali database/sistemi sarà necessario collegarsi, le loro caratteristiche, quindi granularità, dettaglio, numero di colonne a disposizione, la consistenza e la tempestività nelle estrazioni. Qualora i sistemi a disposizione non dovessero disporre di dati fondamentali per lo sviluppo del modello, sarà necessario identificare terze parti in grado di fornirli, oppure prevedere una fase di data collection.

**1.4 Scelta del Cloud Provider:** Visti gli elevati costi iniziali, la difficoltà nella gestione dei sistemi, le competenze e di conseguenza i costi elevati portati dalla scelta di una soluzione infrastrutturale hardware on-premise (acquistare i server e mantenerli in proprio), la scelta si sposta direttamente a quale fornitore di servizi cloud ci permetterà di bilanciare prestazioni, sicurezza, conformità normativa, e costi. Tra i principali provider di servizi cloud, i più noti sono Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure, e Google Cloud Platform (GCP), ciascuno con caratteristiche distintive che possono rispondere alle specifiche esigenze del nostro progetto.

- Amazon Web Services (AWS): AWS è rinomato per la sua vasta gamma di servizi, scalabilità eccezionale e flessibilità. Offre soluzioni avanzate di sicurezza e conformità, rendendolo una scelta solida per progetti che gestiscono dati sensibili, come quelli in ambito sanitario.
- Microsoft Azure: Azure si distingue per l'integrazione ottimale con i prodotti Microsoft, come Office 365 e Active Directory, facilitando l'adozione in ambienti già basati su soluzioni Microsoft.
- Google Cloud Platform (GCP): GCP è particolarmente apprezzato per le sue capacità di analisi dei dati e machine learning, oltre che per un'infrastruttura

altamente ottimizzata per prestazioni elevate. È la scelta preferita per progetti che richiedono elaborazione avanzata dei dati e analitiche in tempo reale.

Nella selezione del provider, sarà fondamentale considerare i seguenti criteri in relazione alle nostre specifiche esigenze:

- Sicurezza e Conformità;
- Scalabilità;
- Affidabilità e Prestazioni;
- Compatibilità Tecnologica;
- Costi.

La decisione finale sarà influenzata, oltre che dall'analisi di queste specifiche, dalla possibilità di partnership con un cloud provider specifico.

**1.5 Selezione e configurazione degli Strumenti di Project Management:** Nel contesto di lavoro Agile è tipico utilizzare strumenti in grado di facilitare il tracciamento delle attività e dei progressi quali Jira, Trello, Notion, Asana e altri. L'utilizzo di questi tool è consigliato per permettere al team di lavorare in modo semplice e permettere al project manager di avere sotto controllo lo stato di avanzamento del team.

**1.6 Definizione delle Funzionalità per la Versione Iniziale (V0):** Per la versione iniziale del nostro sistema, ci concentriamo su una serie di funzionalità chiave progettate per dimostrare il valore aggiunto del nostro sistema. Questo include lo sviluppo di un meccanismo per l'assegnazione dinamica delle sale operatorie, che ottimizzi l'uso delle risorse basandosi su criteri quali l'urgenza dell'intervento e la disponibilità. Un'altra priorità è l'introduzione di un sistema predittivo per la stima accurata della durata degli interventi, che sfrutti dati storici e informazioni in tempo reale. Le funzionalità base dovranno essere individuate anche tramite interviste agli utenti finali della piattaforma.

## **FASE 2: Sviluppo Modello**

Passiamo ora alla fase "core" del progetto, ovvero quella in cui si effettuerà concretamente lo sviluppo del modello.

**2.1 Creazione di Pipeline per l'Anonimizzazione dei Dati:** vista la natura personale, i dati sanitari sono considerati critici per quanto riguarda la sicurezza e la privacy. Per questo sarà necessario definire delle pipeline di anonimizzazione dei dati per assicurarsi che nessuna informazione privata dei pazienti venga condivisa con terze parti, e che negli ambienti cloud di sviluppo siano presenti solo dati già anonimizzati.

**2.2 Provisioning dei Dati nell'Ambiente Cloud:** Una volta definite le pipeline di anonimizzazione, possiamo "spostare" i dati dalle fonti identificate al nostro ambiente cloud per permettere al team di fruirli in modo semplice e veloce. Questa operazione viene generalmente effettuata in modo automatizzato tramite query ai database. In questa fase è importante che tutti i dati siano presenti in cloud, anche in forma "grezza" e non direttamente utilizzabile.

**2.3 Verifica della Qualità dei Dati Raccolti, Data Preparation e test del Data Model:** L'obiettivo di questa fase è quello di uniformare e preparare i dati raccolti e caricati nei database cloud. Con "preparare", intendiamo definire il database schema e il data model migliore per il

nostro caso. La valutazione di quest'ultimi si basa su criteri di completezza, consistenza e tempestività di estrazione.

**2.4 Trasferimento dei Dati dal Cloud all'Ambiente di Sviluppo ML ed Esplorazione Dati:** Una volta preparati i dati, sarà possibile effettuare una fase esplorativa per comprendere meglio il campione di popolazione preso in esame ed eventuali debolezze e aggiustamenti necessari per portare avanti il progetto.

Come anticipato in precedenza, questa fase è di cruciale importanza in questo progetto, motivo per cui è stata già condotta una prima esplorazione finalizzata a delineare i punti di forza e di debolezza dei dati attualmente disponibili e definire azioni correttive per ottimizzare il data model.

**2.4.1 Dettaglio sullo schema dati attuale e sul contenuto delle tabelle:**

Attualmente, le tabelle a disposizione sono 4:

1. **Pazienti:** contiene le caratteristiche dei pazienti analizzati in questa prima fase. Per le colonne “diabete”, “cardiopatie”, “allergie”, “ipertensione”, “precedenti interventi”, il valore “0” sostituisce la dicitura “il paziente NON presenta questa caratteristica”, e “1” il contrario.

ANT	Età	Sesso	Peso	Altezza	BMI	Diabete	Cardiopatie	Allergie	Ipertensione	Precedenti interventi	DEGENZA POST
0001	28	M	68	172	23	0	0	0	0	0	48
0002	61	F	81	170	28	0	0	0	0	0	24
0003	46	F	68	170	23,5	0	0	1	0	1	48
0004	33	F	59	169	20,7	0	0	0	0	0	48
0005	55	M	72	169	25,2	0	0	0	0	0	12
0006	54	F	60	158	24	0	0	0	0	0	24
0007	72	F	85	168	30	0	1	0	1	0	144
0008	72	M	57	175	18,6	0	0	0	1	0	72
0009	43	F	55	157	22,3	0	0	0	0	0	48
0010	37	F	58	155	24,1	1	0	0	0	0	1248

*Tabella 1: sample entries della tabella Pazienti (circa 120 righe)*

La prima colonna “ANT” della Tabella 1 è il codice identificativo univoco dei pazienti presi in considerazione in questa prima raccolta. Invece, tutte le altre colonne sono il primo insieme di caratteristiche del paziente che abbiamo preso in considerazione per studiare se e quali caratteristiche di questi possono influenzare la durata degli interventi:

- Età;
- Sesso;
- Peso;
- BMI;
- Diabete;
- Cardiopatie;
- Allergie;
- Ipertensione;
- Precedenti interventi.



## Efficientamento della programmazione operatoria chirurgica mediante intelligenza artificiale predittiva

La colonna “DEGENZA POST” indica, in ore, il tempo passato dal paziente in osservazione prima di essere dimesso. Questa colonna risulta utile per studiare le relazioni tra paziente, team operatorio e il tempo passato in ospedale in seguito all’intervento, al fine di ottimizzare il flusso dei pazienti e le liste di attesa.

2. Operatori, Anestesisti, Infermieri: 3 tabelle distinte con le caratteristiche principali degli operatori di sala e assistenti. Allo stato attuale, presentano solo età ed esperienza ma in fasi successive si prevede di ampliare i parametri da prendere in considerazione.

ID	Età	Esperienza
0001	57	27
0002	39	7
0003	61	34
0004	32	2
0005	46	17
0006	48	19
0007	62	32
0008	38	6
0009	45	15
0010	36	5

Tabella 2: Dettagli operatori, anestesisti e infermieri

3. Storico Interventi: contiene i dati relativi al singolo intervento.

Timestamp Inizio	Durata	Codice intervento	Nome	ID PAZIENTE	Codice Operatore 1	Codice Operatore 2	Codice Infermiere	Codice Anestesista	Esito	Motivo
08.01.24 09.18	67	215	SETTOTURBINOPLASTICA	35	0001	0011	0002	0002	Positivo	0
08.01.24 12.00	265	1609	DECOMPRESSIONE ORBITARIA	59	0011	0010	0002	0002	Positivo	0
08.01.24 17.43	33	215	SETTOTURBINOPLASTICA	71	0010	0011	0001	0001	Positivo	0
08/01/2024	/	222	FESS	109					Saltato	4
08/01/2024	/	2699	PAROTIDECTOMIA ESOFACCIALE	12					Saltato	1
08.01.24 19.05	5	2171	RIDUZIONE FON	65	0010		0003	0001	Positivo	0
09.01.24 09.20	90	2631	PAROTIDECTOMIA ESOFACCIALE	12	0001	0013	0004	0006	Positivo	0
09.01.24 12.05	120	864	RINECTOMIA	45	0011	0013	0004	0006	Positivo	0
10.01.24 09.55	125	3198	MUCOSECTOMIA LINGUALE	38	0001	0016	0005	0007	Positivo	0

Tabella 3: Dati interventi (circa 120 righe)

Per ogni intervento programmato, abbiamo rilevato il momento di inizio (colonna “Timestamp Inizio”), la durata, l’esito e il match paziente-team operatorio. La raccolta di questi dati così strutturati ha diversi obiettivi.

In primo luogo, la durata ci permette di studiare quali interventi presentano maggiore variabilità e, di conseguenza, indagare se e quali caratteristiche dei pazienti possono

aver influenzato quel singolo intervento. Con disponibilità elevate di dati sarà possibile anche effettuare test statistici affidabili su correlazioni strutturali tra deviazione standard della durata degli interventi e fattori esterni.

Il team operatorio ci permette di analizzare l'efficienza di varie combinazioni di operatori e assistenti per permettere all' algoritmo di matching del team operatorio di assegnare, specialmente agli interventi più "delicati", il team più adatto a portare a termine la procedura in modo efficace ed efficiente.

- Motivazioni rimando interventi: tabella con codici di dettaglio sui motivi che hanno portato a rimandare un determinato intervento.

INDISPONIBILITA PAZIENTE	1
INDISPONIBILITA SALA OPERATORIA	2
INDISPONIBILITA PERSONALE COMPARTO	3
SINTOMI INFLUENZALI	4
HERPES	5
MANCATA SOSPENSIONE TERAPIA DOMICILIARE	6
RECENTE ATB TERAPIA	7
RECENTE COVID (<6 SETT)	8
PAZIENTE NON SI PRESENTA AL RICOVERO	9

Tabella 4: Dettaglio motivazioni rimando interventi

- Tempistiche di sala dettagliate:

REPARTO	SALA	DATAINTERVENTO	PAZIENTE	entrata sala	uscita sala	PRIMAPROCEDURACHIRURGICA	INTERVALLO
OTORINOLARINGOIATRIA E CHIRURGIA CERVICO FACCIALE	SALA 2	08/01/2024 00:00:00	98	17:20	18:34	21.5 - RESEZIONE SOTTOMUCOSA DEL SETTO NASALE	73
OTORINOLARINGOIATRIA E CHIRURGIA CERVICO FACCIALE	SALA 2	08/01/2024 00:00:00	27	18:51	19:25	21.71 - RIDUZIONE CHIUSA DI FRATTURA NASALE NON A CIELO APERTO	34
OTORINOLARINGOIATRIA E CHIRURGIA CERVICO FACCIALE	SALA 2	08/01/2024 00:00:00	23	11:30	16:51	16.09 - ALTRA ORBITOTOMIA	321
OTORINOLARINGOIATRIA E CHIRURGIA CERVICO FACCIALE	SALA 2	08/01/2024 00:00:00	223	08:56	10:40	21.5 - RESEZIONE SOTTOMUCOSA DEL SETTO NASALE	104
OTORINOLARINGOIATRIA E CHIRURGIA CERVICO FACCIALE	SALA 2	09/01/2024 00:00:00	05	11:49	14:19	86.4 - ASPORTAZIONE RADICALE DI LESIONE DELLA CUTE	150

Tabella 5: Dettaglio tempistiche di sala

Nella Tabella 5 abbiamo voluto raccogliere ulteriori dettagli sulle tempistiche degli interventi quali Sala operatoria specifica e orario preciso di ingresso e uscita dalla sala, al fine di analizzare in modo dettagliato i tempi di sala rispetto al totale della durata che vediamo in Tabella 3.

**2.5 Analisi delle Feature Critiche:** L'obiettivo di questa fase, chiamata anche "feature selection", è quello di identificare le caratteristiche dei pazienti che influenzano maggiormente la durata degli interventi. Questa operazione avviene generalmente in due fasi. La prima, implicita, avviene quando gli esperti "scelgono", sulla base dell'esperienza le caratteristiche dei pazienti che potrebbero influire sulla durata degli interventi. La seconda, più "tecnica", avviene

attraverso l'esplorazione manuale dei dati e la scelta delle feature più rilevanti da parte dei Data Scientists/AI Engineers.

Le feature (caratteristiche) iniziali scelte per un primo studio preliminare sono quelle presenti nella tabella pazienti (Tabella 1):

- Età
- Sesso
- Peso
- Altezza
- BMI
- Diabete
- Cardiopatie
- Allergie
- Ipertensione
- Precedenti interventi

Non tutte sono potenzialmente correlate ad una durata maggiore degli interventi ma ci permettono di effettuare un primo clustering per similarità dei pazienti sotto esame.

Quando si analizzano le feature principali, è importante capire sin da subito se alcune di esse sono linearmente dipendenti tra loro poiché feature dipendenti tra loro potrebbero aumentare la complessità del problema di machine learning senza aggiungere contenuto informativo per il modello.

A tal proposito, osserviamo nella *heat-map* in Grafico 1 come, ad esempio, BMI e peso sono fortemente correlate tra loro (82%): questo indica che, sarà possibile utilizzare una sola delle variabili in fase di costruzione del modello predittivo.

In prima battuta, abbiamo provveduto ad analizzare diversi casi per osservare la distribuzione delle durate degli interventi in modo aggregato (i.e. non considerando il singolo intervento) per capire se fossero presenti comportamenti macroscopici nei dati: come possiamo vedere nei Grafici da 2 a 7, in cui sono riportate le distribuzioni delle durate clusterizzando i pazienti rispetto alle varie feature (i.e. diabetici vs non diabetici, uomini vs donne, ecc.), non possiamo concludere che alcune feature influiscono esclusivamente e in modo preponderante sulla durata degli interventi. Questo comportamento era prevedibile poiché l'esito e la durata di un intervento risulta essere un problema molto complesso e dipendente da svariati fattori. Per questo motivo sarà necessario raccogliere quantità maggiori di dati non solo temporalmente (più interventi) ma anche a livello di feature (considerare più caratteristiche dei pazienti e degli operatori).

# Efficientamento della programmazione operatoria chirurgica mediante intelligenza artificiale predittiva

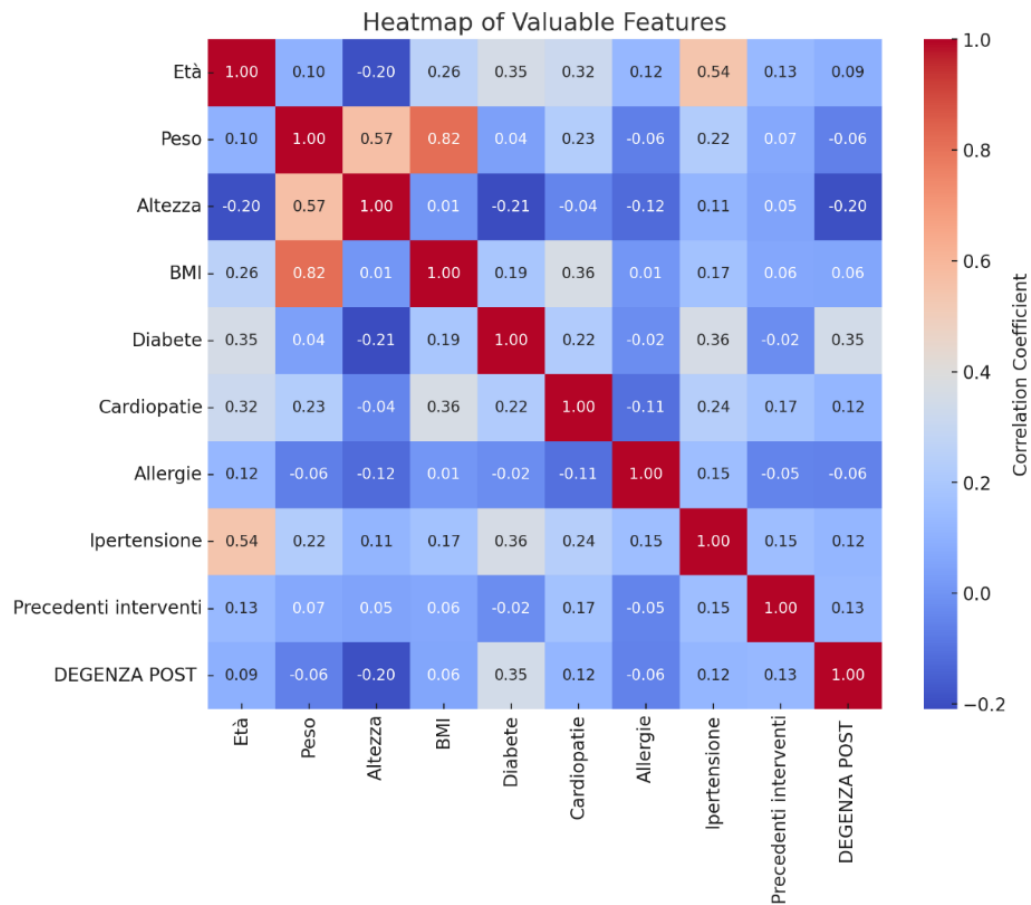


Grafico 1: Heat-map correlazione feature

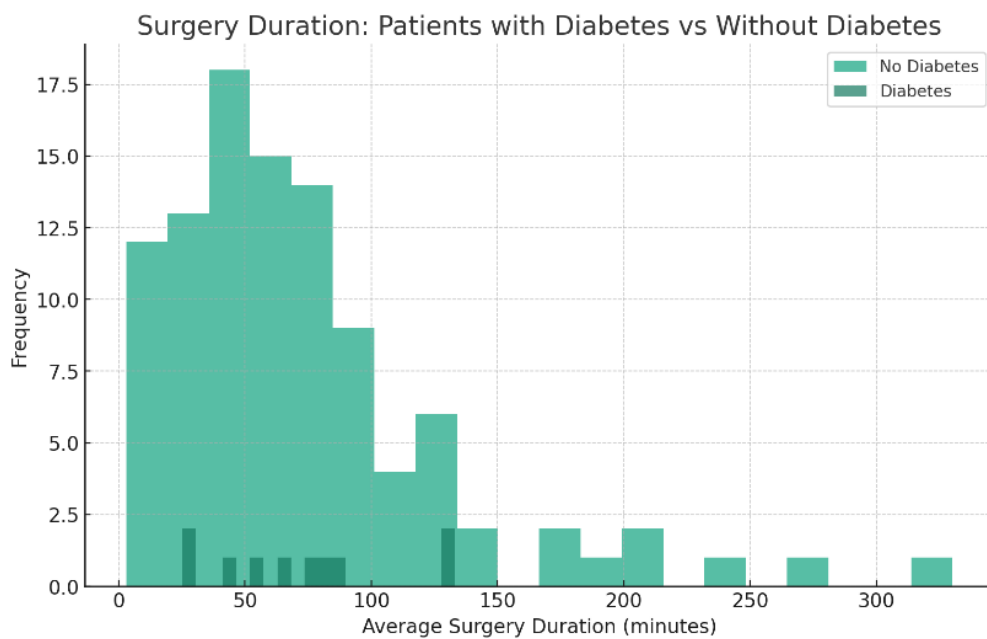


Grafico 2: Istogramma distribuzione delle durate, clusterizzate per pazienti diabetici e non

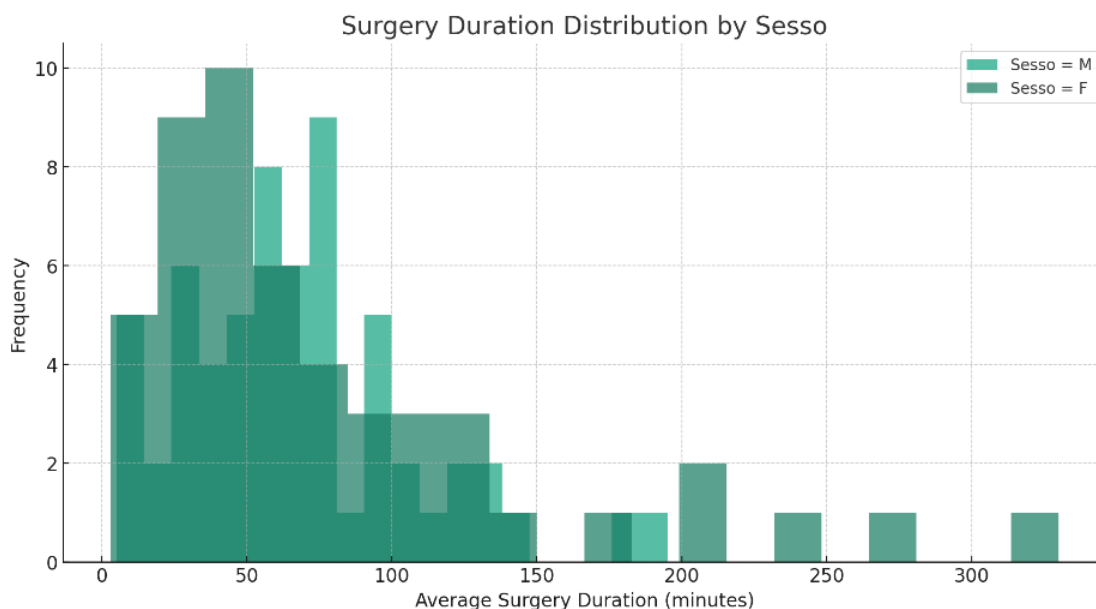


Grafico 3: Istogramma distribuzione delle durate, clusterizzate per sesso

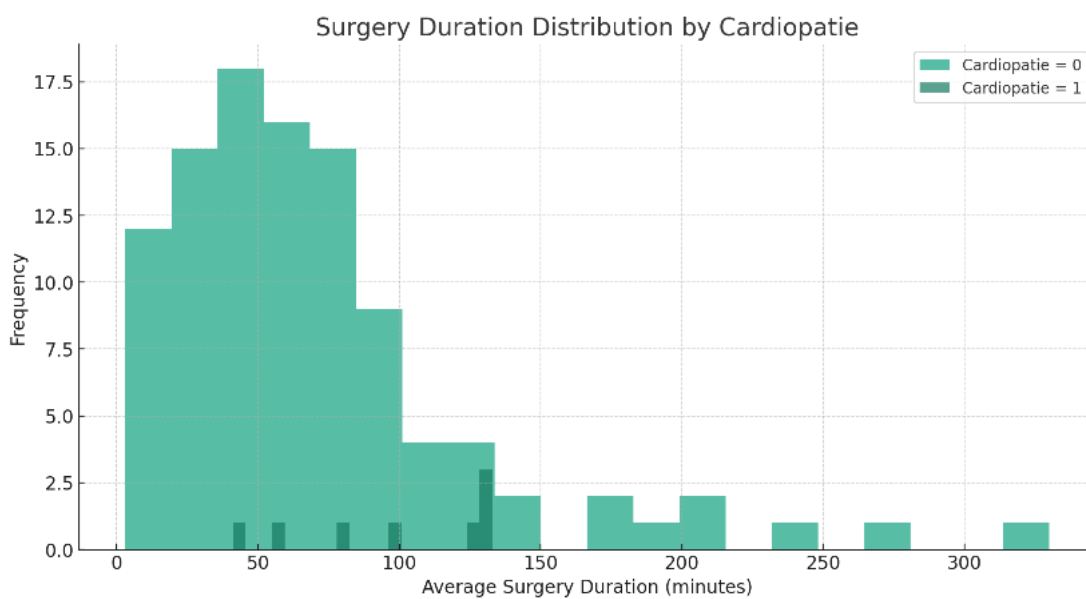


Grafico 4: Istogramma distribuzione delle durate, clusterizzate per presenza di cardiopatie

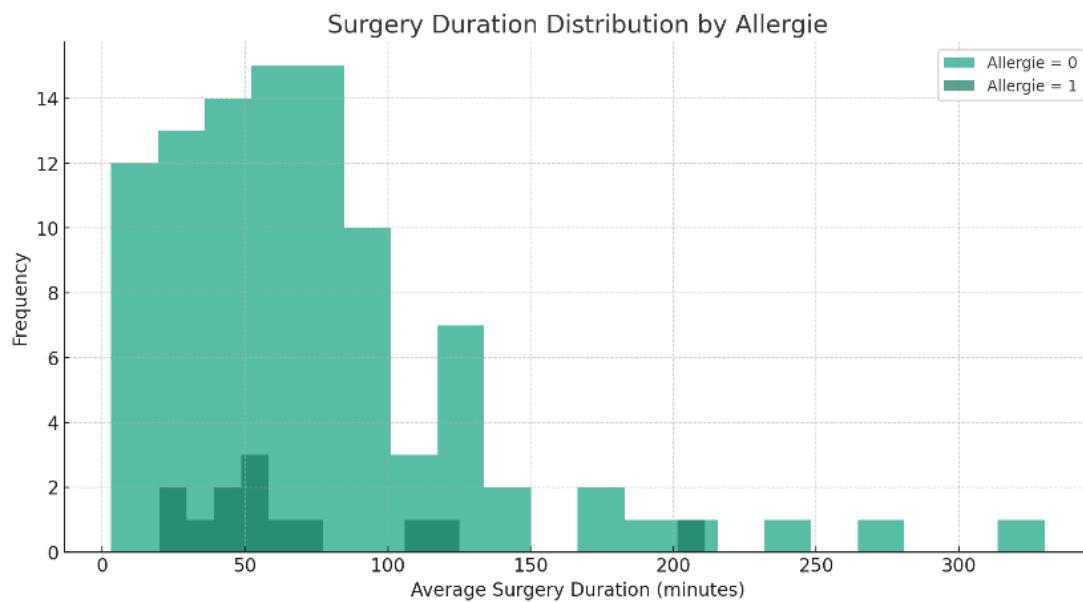


Grafico 5: Istogramma distribuzione delle durate, clusterizzate per presenza di allergie

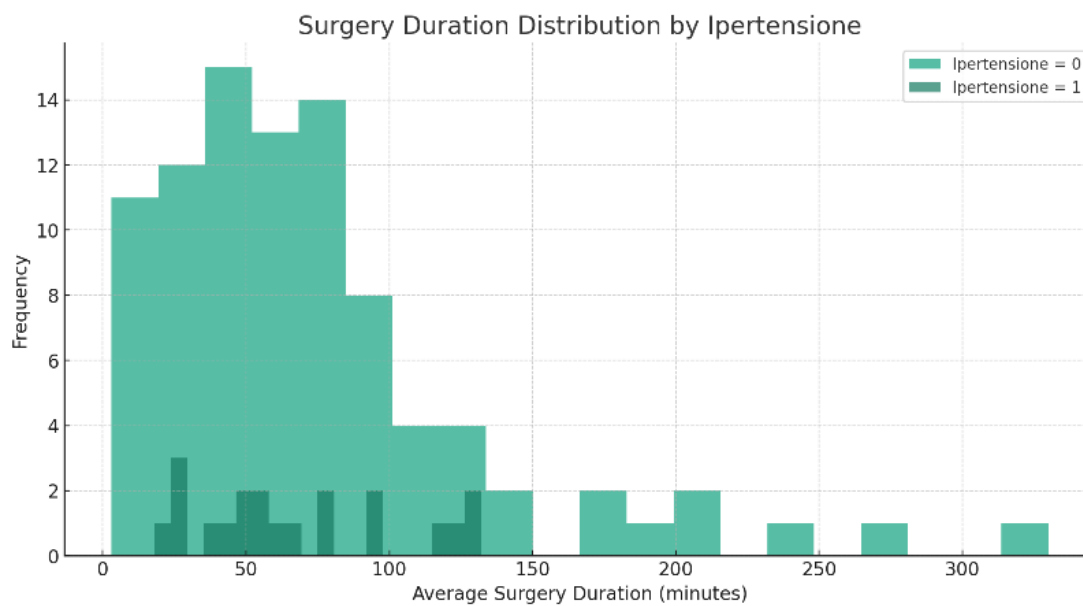


Grafico 6: Istogramma distribuzione delle durate, clusterizzate per presenza di ipertensione

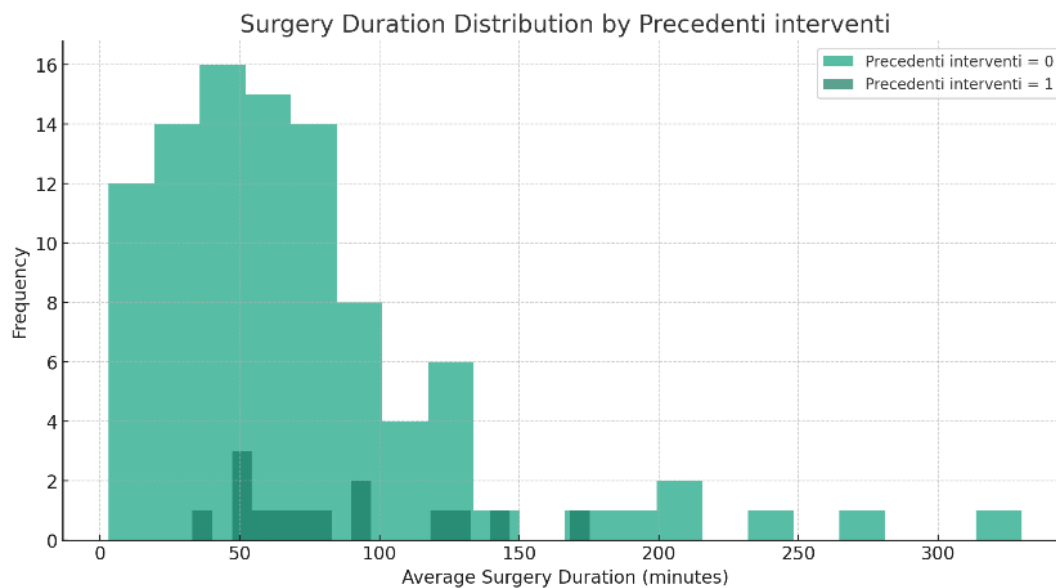


Grafico 7: Istogramma distribuzione delle durate, clusterizzate per interventi precedenti

I Grafici 8 e 9, rappresentano un altro tipo di visualizzazione dati che potrebbe aiutare ad identificare visivamente pattern nei dati. In questi due casi, abbiamo voluto analizzare la distribuzione delle durate rispetto a BMI (Grafico 8) ed Età (Grafico 9) del paziente, paragonando gli *scatter plot* di uomini e donne. È possibile dettagliare questo tipo di analisi definendo un grafico diverso per ogni intervento e rispetto a ogni feature. Questo tipo di dettaglio non risulta di fondamentale importanza in questo momento poiché abbiamo

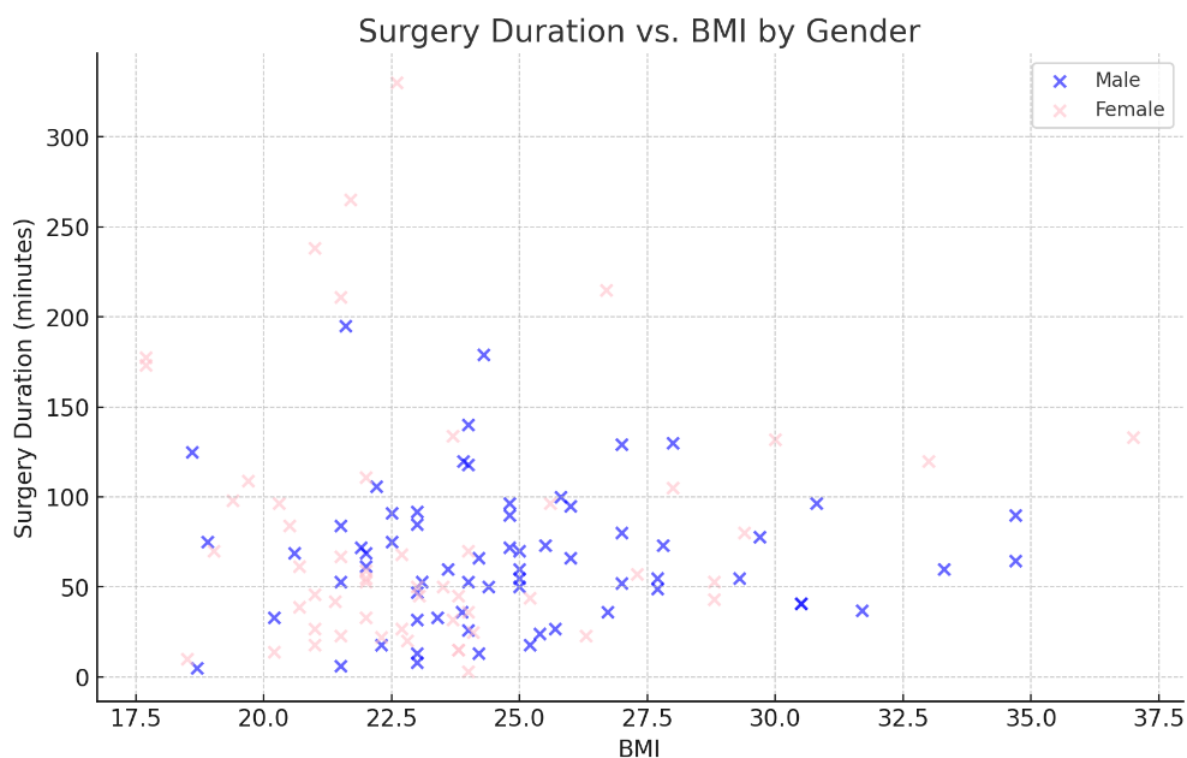


Grafico 8: Scatter Plot distribuzione delle durate rispetto a BMI, clusterizzate per sesso

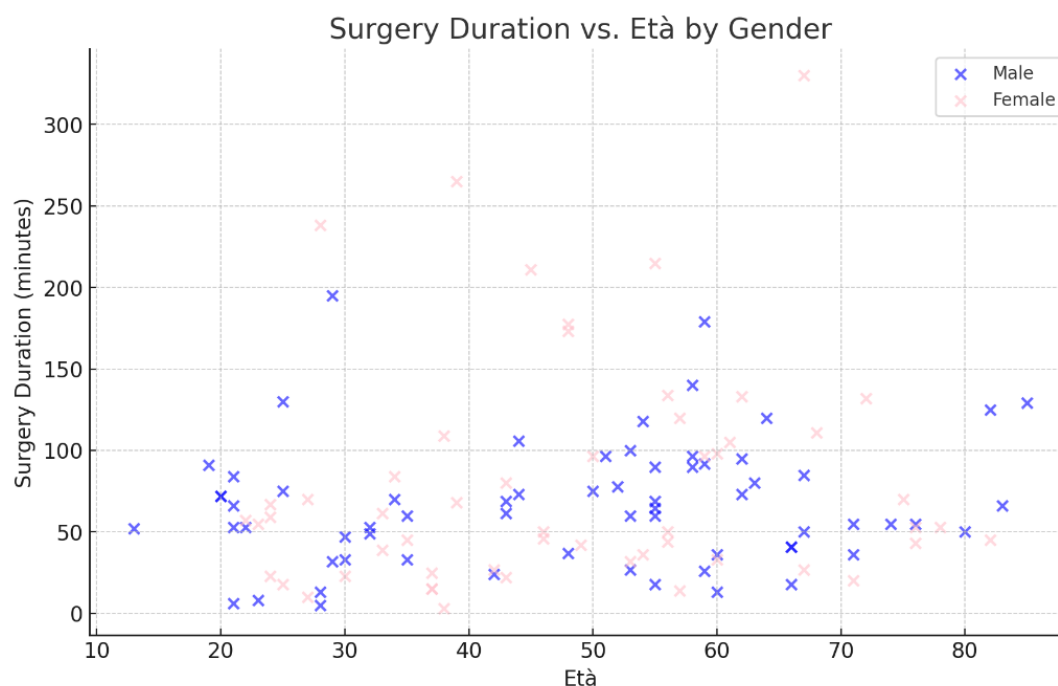


Grafico 9: Scatter Plot distribuzione delle durate rispetto a Età, clusterizzate per sesso

concluso in precedenza che, per trarre conclusioni statisticamente rilevanti necessitiamo di raccogliere più dati e per un lasso di tempo più lungo.

## 2.6 Costruzione e Addestramento del Modello Predittivo e del sistema di matching del team

**operativo:** Una volta individuate le feature critiche, sarà possibile sviluppare il modello AI in grado di prevedere in modo accurato (al netto di imprevisti), la durata degli interventi.

Non è possibile dire a priori quale modello risulterà il più efficace. Tipicamente, vengono testati vari modelli e viene scelto quello in grado di prevedere meglio la variabile target, nel nostro caso la durata di un intervento. Tra questi troviamo:

- **Regressione Lineare e Logistica:** Utili per prevedere variabili continue (come il tempo necessario per un certo tipo di operazione) o categoriche (ad esempio, se uno slot operativo sarà sufficiente o meno), basandosi su relazioni lineari tra le feature.
- **Alberi di Decisione e *Random Forest*:** Questi modelli possono gestire relazioni complesse tra i dati, offrendo una buona interpretabilità e la capacità di gestire dati categorici e continui (e.g. presenza di cardiopatie e durata interventi). Sono particolarmente utili per classificare tipologie di intervento o per prevedere tempi di attesa.
- **Reti Neurali e *Deep Learning*:** Questi approcci sono adatti per modellare relazioni complesse e non lineari tra le variabili. Possono essere particolarmente efficaci in presenza di grandi volumi di dati e per catturare interazioni complesse tra le feature.
- **Modelli basati su Serie Temporali (ad es. ARIMA, LSTM):** Questi modelli sono particolarmente adatti per prevedere la domanda di slot operatori nel tempo, analizzando i pattern storici e stagionali.



Per alcuni di questi modelli, in particolare le reti neurali e modelli di deep learning, è rilevante avere a disposizione ingenti quantità di dati in modo da poter addestrare adeguatamente il modello.

Per quanto riguarda il sistema di matching del team operativo, potrebbe essere sufficiente un albero decisionale in grado di costruire il team in modo progressivo, altrimenti si potrebbe formalizzare il problema come una ottimizzazione seguendo le tecniche di ricerca operativa.

**2.7 Test e Validazione del Modello:** Una volta stabilito il modello migliore, è necessario testarlo e validarlo su dati che il modello non ha già “visto” in fase di addestramento. Questa fase è necessaria per assicurarsi che il modello abbia compreso i pattern in modo generalizzato e che non abbia semplicemente imparato a “replicare” le impostazioni che ha osservato nei dati di training.

**2.8 Progettazione dell'Interfaccia Utente per la Schedulazione:** Per permettere agli operatori di inserire i dati e consultare il piano operatorio, è fondamentale sviluppare una interfaccia utente intuitiva e semplice da utilizzare. Idealmente, questa fase si sviluppa in collaborazione con gli utenti finali attraverso workshop di design thinking e co-creation guidati dagli esperti di UX/UI. I workshop di *design-thinking* permettono di identificare le caratteristiche fondamentali per gli utenti e costruire una *User Interface* funzionale.

**2.9 Definizione del Modello Operativo:** Sviluppare il sistema non basta, è necessario stabilire protocolli chiari su responsabilità, tempistiche e procedure operative, in modo tale che l'investimento porti i frutti desiderati. Uno dei rischi del progetto è la resistenza del personale nel seguire nuove modalità e/o nel rispettare delle linee guide diverse rispetto a quelle che hanno sempre utilizzato.

Per questo motivo è cruciale strutturare, insieme ad operatori esperti e fidati, i processi che ogni operatore, anestesista o infermiere dovrà seguire per supportare il nuovo sistema. In ambito clinico, i processi sono già ben definiti e strutturati, per questo in questa fase ci occuperemo di assicurarci che i processi siano allineati con il nuovo sistema e soprattutto che questi processi vengano rispettati, al fine di minimizzare la creazione problematiche che possano influire sulla schedulazione di sala.

**2.10 Prova sul Campo del Modello:** Infine, partiremo un progetto pilota con perimetro circoscritto a poche sale di un solo dipartimento per testare l'efficacia del modello. I progetti pilota hanno l'obiettivo di testare nuovi prodotti con un numero limitato di utenti limitando eventuali esiti negativi. Data la criticità del sistema di schedulazione degli interventi, il nuovo sistema andrà utilizzato in parallelo a quello esistente fino a quando non dimostrerà di raggiungere una efficienza almeno uguale a quella del sistema attualmente in uso.

Qualora il pilota dovesse portare i risultati sperati, si valuterà la possibilità di scalare il modello ad altri dipartimenti ed unità operative.

### **FASE 3: Monitoraggio**

La terza fase di monitoraggio continuo dei KPI, è da considerarsi come fase continua in ottica *continuous improvement*. Viene proposta come terza fase perché, nelle settimane e nei mesi

immediatamente successivi al “*go-live*” del nuovo sistema, sarà fondamentale sviluppare un sistema di KPI in grado di catturare il valore generato e individuare aree di miglioramento.

Questa fase può essere ulteriormente dettagliata in tre stream principali:

1. Fase di UAT (*User Acceptance Testing*): il sistema viene proposto ad un pool ristretto di utenti finali, i beta testers. Questi saranno istruiti sul funzionamento del tool ed effettueranno test designati a trovare funzionalità mancanti ed errori strutturali;
2. Consolidamento: In questa ultima fase si svolgono gli ultimi aggiornamenti e migliorie di features identificate durante la fase di UAT. Sarà compito del project manager assicurarsi che i fix effettuabili a questo punto del progetto non vadano ad intaccare funzionalità core. In altre parole, non tutto può essere modificato così a ridosso del rilascio, principalmente funzionalità marginali o di UI.
3. Monitoraggio: internamente, si monitoreranno tutti i KPI proposti per valutare il sistema post go-live per anticipare possibili KPI mancanti e che potrebbero aiutare a migliorare il tool ed estrarre valore da esso.

Nella sezione “Risultati attesi con esplicitazione degli indicatori utilizzati” proporranno un insieme di KPI ed un prospetto sui risultati attesi.



## ANALISI DEI COSTI DI IMPLEMENTAZIONE O REALIZZAZIONE

In questa sezione proponiamo una roadmap indicativa delle attività sviluppata su sei mesi di progetto. Successivamente, vedremo quante e quali risorse sono richieste sulle varie attività, e questa visualizzazione ci permetterà di proporre una struttura dei costi delle risorse.

Roadmap		M1				M2				M3				M4				M5				M6			
		W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4
Identificazione dei requisiti	Identificazione Dati Necessari																								
	Selezione Team Operativo																								
	Valutazione Qualità Dati																								
	Scelta Cloud Provider																								
	Strumenti Project Management																								
	Definizione funzionalità VO																								
Sviluppo del modello	Creazione di Pipeline per l'Anonimizzazione dei Dati																								
	Provisioning dei Dati nell'Ambiente Cloud																								
	Verifica della Qualità dei Dati Raccolti, Data Preparation e test del Data Model																								
	Trasferimento dei Dati dal Cloud all'Ambiente di Sviluppo ML ed Esplorazione Dati																								
	Analisi delle Feature Critiche																								
	Costruzione e Addestramento del Modello Predittivo e del sistema di matching del team operativo																								
	Test e Validazione del Modello																								
	Sviluppo e implementazione architettura software																								
	Progettazione dell'Interfaccia Utente per la Schedulazione																								
	Definizione del Modello Operativo																								
	Prova sul Campo del Modello																								
Monitoring	Fase di UAT																								
	Consolidamento																								
	Monitoring																								

Tabella 6: Roadmap attività

Nella Tabella 6, vediamo un possibile sviluppo dei primi sei mesi di progetto. Le attività sono divise per settimana e le aree colorate della tabella aiutano ad avere una visuale ad alto livello di come potrebbe essere strutturato un Gantt del progetto. Poiché la metodologia adottata per questo progetto è quella Agile, questo diagramma non è da considerarsi un Gantt formale di progetto ma un tool utile per tenere traccia delle tempistiche di progetto e per aiutare il project manager a scandire i tempi del team di lavoro.

**Fase 1** : la prima fase prenderà le prime quattro settimane di progetto. Queste attività, per quanto principalmente di setup e inizializzazione, sono fondamentali per ridurre gli attriti durante la fase due, la più delicata e complessa dal punto di vista tecnico.

## Efficientamento della programmazione operatoria chirurgica mediante intelligenza artificiale predittiva

Come è possibile osservare il Tabella 7, il coinvolgimento del personale sanitario avviene principalmente nella prima fase e nell'ultima, poiché la seconda è prevalentemente operativa sul fronte dello sviluppo del sistema.

**Fase 2 :** la fase due racchiude tutte le attività di sviluppo del sistema, per questo motivo è la più delicata e complessa sotto questo punto di vista. Il personale sanitario risulta scarico e ha un impegno di supervisione delle attività e dei risultati del modello.

**Fase 3 :** come anticipato precedentemente, ricordiamo che l'attività finale di monitoring, da svolgersi nel mese finale del progetto, dovrà essere portata avanti anche in settimane successive al go-live in ottica *continuous improvement*: questo paragrafo però circoscrive l'analisi di attività e costi alla fase strettamente di realizzazione del sistema.

	Risorse							Effort (MD)	
	Figure interne	AI/ML Engineer	Data Engineer	DevOps Engineer	Tech Architect	Full-Stack Developer	Project Manager		
Identificazione Dati Necessari	x		1				3	4	
Selezione Team Operativo	x		1				3	4	
Valutazione Qualità Dati	x	1	1				3	5	
Scelta Cloud Provider	x						3	3	
Strumenti Project Management	x						3	3	
Definizione funzionalità VO	x						3	3	
Creazione di Pipeline per l'Anonimizzazione dei Dati			4	1			2	7	
Provisioning dei Dati nell'Ambiente Cloud			4	1			2	7	
Verifica della Qualità dei Dati Raccolti, Data Preparation e test del Data Model	x	2	4				2	8	
Trasferimento dei Dati dal Cloud all'Ambiente di Sviluppo ML ed Esplorazione Dati		2	4				2	8	
Analisi delle Feature Critiche	x	6	2				2	10	
Costruzione e Addestramento del Modello Predittivo e del sistema di matching del team operativo	x	6	2				4	12	
Test e Validazione del Modello	x	4		2			2	8	
Sviluppo e implementazione architettura software		4	4	4	7	10	4	33	
Progettazione dell'Interfaccia Utente per la Schedulazione	x	1	1	1	2	5	6	16	
Definizione del Modello Operativo	x						5	5	
Prova sul Campo del Modello	x						2	2	
Fase di UAT	x	2	1	1		4	3	11	
Consolidamento	x						1	1	
Monitoring	x						3	3	
	0	28	29	10	9	19	58	153	Overall Man Days
		500 €	450 €	400 €	380 €	450 €	300 €		Costo giornaliero per risorsa
	- €	14.000 €	13.050 €	4.000 €	3.420 €	8.550 €	17.400 €	60.420,00 €	TOT COSTO RISORSE ESTERNE

*Tabella 7: Coinvolgimento risorse e costi risorse esterne*

Le natura innovativa del progetto rende più complessa la stima dei costi e delle figure necessarie per portarle a termine. Infatti, parte delle figure coinvolte sono "figure interne", ovvero coloro che seguono la programmazione operatoria in una determinata struttura, parte sono esterne e difficilmente reperibili in una struttura ospedaliera (*AI Engineer/Data Scientist, Full-Stack Developers, ecc.*).

Per questo motivo, in Tabella 7 è riportata una visione d'insieme delle figure esterne con una proposta di coinvolgimento in termini di man-days (giorni-uomo) e una proposta di costo giornaliero per ogni risorsa. Questo esercizio è utile per poter dimensionare il progetto a livello di budget, che però verrebbe eventualmente allocato ad una agenzia esterna specializzata in questo tipo di servizi. Un prezzo definitivo potrebbe naturalmente variare.

Sempre in Tabella 7, nella colonna "Figure interne", è possibile vedere in quali delle attività sono coinvolte le figure interne. Per quanto riguarda il Fatebenefratelli di Milano, i costi del team di programmazione di sala operatoria sono consultabili in Tabella 8. Il team interno prevede, oltre al coinvolgimento dei Direttori di SC delle Chirurgie e dell'Anestesiologia, di un referente chirurgo di blocco di sala operatoria, di un coordinatore anestesiológico ed infermieristico e di un ingegnere gestionale afferente alla gestione operativa. Il team prescelto dovrà periodicamente, una volta superata la fase di sviluppo del sistema, interfacciarsi con il project manager al fine di garantire il "*continuous improvement*".

# Efficientamento della programmazione operatoria chirurgica mediante intelligenza artificiale predittiva

			DSC chirurgie	DSC anestesiologia	Referente chirurgo SO	Coordinatore anestesilogico SO	Coordinatore infermieristico SO	Coordinatore tecnici radiologia SO	Gestione operativa	
Attività AS-IS	Programmazione mensile di sala operatoria	N° risorse	9	1	7	0	2	1	2	
		[ore/mese]	2	6	4	3	6	3	18	
		[euro/ora]	86	86	74	74	43	37	27	
	[euro/mese]	1.551 €	518 €	2.061 €	0 €	512 €	112 €	982 €		
	Programmazione settimanale di sala operatoria	N° risorse	9	0	7	0	0	0	0	
		[ore/settimana]	0,5		2					
		[euro/ora]	86	86	74	74	43	37	27	
	[euro/settimana]	388 €	0 €	1.031 €	0 €	0 €	0 €	0 €		
	Controllo planning operatori settimanali/gestione variazioni settimanali	N° risorse	9	1	7	1	2	1	2	
[ore/settimana]		0	1	0,5	1	1	1	2		
[euro/ora]		86	86	74	74	43	37	27		
[euro/settimana]	0 €	86 €	258 €	74 €	85 €	37 €	109 €			
Attività TO-BE applicativo DIGISTAT	Controllo planning operatori giornalieri	N° risorse	0	1	7	1	2	1	2	
		[ore/giorno]	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
		[euro/ora]	86	86	74	74	43	37	27	
		[euro/settimana]	0 €	216 €	1.288 €	184 €	213 €	93 €	136 €	
Totale [euro/mese]			3.257,04 €	1.847,69 €	13.398,61 €	1.133,73 €	1.826,49 €	686,34 €	2.062,69 €	24.213 €

Tabella 8: Prospetto costi mensili figure interne

In Tabella 9 è possibile visualizzare la struttura overall sia delle attività che dei costi.

Roadmap	M1				M2				M3				M4				M5				M6				Effort (MD)	Figure																																
	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4		Interne	AI/ML Engineer	Data Engineer	DevOps Engineer	Tech Architect	Full-Stack Developer	Project Manager																										
Identificazione dei requisiti	Identificazione Dati Necessari																								4	x																														3		
	Selezione Team Operativo																								4	x																															3	
	Valutazione Qualità Dati																								5	x																															3	
	Scelta Cloud Provider																								3	x																															3	
	Strumenti Project Management																								3	x																															3	
	Definizione funzionalità VO																								3	x																															3	
Sviluppo del modello	Creazione di Pipeline per l'Anonimizzazione dei Dati																								7																																2	
	Provisioning dei Dati nell'Ambiente Cloud																								7																																	2
	Verifica della Qualità dei Dati Raccolti, Data Preparation e test del Data Model																								8	x																																2
	Trasferimento dei Dati dal Cloud all'Ambiente di Sviluppo ML ed Esplorazione Dati																								8																																	2
	Analisi delle Feature Critiche																								10	x																																2
	Costruzione e Addestramento del Modello Predittivo e del sistema di matching del team																								12	x																																4
	Test e Validazione del Modello																								8	x																																2
	Sviluppo e implementazione architettura software																								33																																	4
Progettazione dell'interfaccia Utente per la Schedulazione																								16	x																																6	
Definizione del Modello Operativo																								5	x																																5	
Prova sul Campo del Modello																								2	x																																2	
Monitoring	Fase di UAT																								11	x																														3		
	Consolidamento																								1	x																																1
	Monitoring																								3	x																																3
Overall Man Days																								153	0	28	29	10	9	19	58																											
Costo giornaliero per risorsa																										500	450	400	380	450	300																											
<b>TOT COSTO RISORSE ESTERNE</b>																								<b>60.420 €</b>	- €	14.000 €	13.050 €	4.000 €	3.420 €	8.550 €	17.400 €																											

Tabella 9: Overview Roadmap e Costi

## RISULTATI ATTESI

Come spiegato precedentemente, i benefici sperati sono diversi:

- Riduzione dei tempi morti in sala operatoria
- Previsione più efficace della durata degli interventi
- Aumento del numero di pazienti operati
- Riduzione delle liste di attesa
- Aumento del budget raggiunto per trimestre/periodo contabile

Per assicurarci di raggiungere questi obiettivi, o almeno sapere per tempo se il sistema non sta portando i benefici attesi ed eseguire di conseguenza azioni correttive, proponiamo questo insieme di indicatori (Tabella 6):

Nome KPI	Descrizione	Tipologia	Frequenza monitoraggio
# interventi saltati day/week/month	3 KPI distinti con l'obiettivo di tracciare il numero di interventi saltati giornalmente, settimanalmente e mensilmente. Se il sistema permette la massima efficienza, questo numero dovrebbe diminuire (al netto di imprevisti fisiologici)	Numero intero calcolato come la somma degli interventi saltati nei vari periodi	Giorno Settimana Mese
Delta Durata prevista-effettiva	Differenza tra la durata di un determinato intervento prevista dal sistema e durata effettiva. Questo KPI dovrebbe essere il più vicino possibile allo zero (al netto di imprevisti fisiologici, da tenere conto nella formulazione matematica dell'errore)	Numero decimale > 0	Continuo – KPI aggiornato real time ogni volta che un nuovo intervento viene aggiunto al sistema.
Sum Overall pazienti operati	Numero di pazienti operati: viene aggiornato real time e valutato in relazione al valore relativo ad un periodo simile in anni precedenti (e.g Gennaio '25 vs Gennaio '24). Ci si aspetta un aumento.	Numero intero	Settimana/mese/quarter/anno in base alle necessità
Sum Overall interventi saltati	Numero di interventi saltati: ci si aspetta che diminuiscano (al netto di imprevisti fisiologici)	Numero intero	Settimana/mese/quarter/anno in base alle necessità
Cumulative Budget	Budget cumulato con forecast di raggiungimento target di quarter e annuale	Numero decimale con forecast data di raggiungimento target	Cumulato: real time Forecast target: entro anno
Tempi di degenza totali	Somma dei tempi di degenza post operatoria dei pazienti: identificare un team operatorio ottimale potrebbe aiutare a ridurre questo valore	Numero intero	Cumulato: real time Da considerare mensilmente o annualmente
Soddisfazione del personale di sala	Dato qualitativo per misurare la soddisfazione del personale di sala nell'utilizzare il nuovo tool e nel seguire i nuovi processi. Monitorare questo valore potrebbe consigliare azioni correttive rilevanti per la riuscita del progetto	Dato qualitativo "estraibile" da survey di gradimento	Survey di gradimento da sottoporre settimanalmente (almeno in una fase iniziale) e successivamente mensilmente

Tabella 6: KPI di valutazione

## Efficientamento della programmazione operatoria chirurgica mediante intelligenza artificiale predittiva

Abilitare la visualizzazione di questi valori tramite dashboard aggiornate real-time abiliterà il personale di sala e il team di sviluppo a intraprendere azioni correttive per assicurare la riuscita del progetto. Tuttavia, utilizzare questi KPI richiede conoscenza del contesto: non tutti i tempi morti e non tutti gli imprevisti sono prevedibili (e.g. si rompe una tubatura e due sale operatorie risultano inagibili); infatti, il nostro sistema vuole annullare, ove possibile, le inefficienze sistematiche ed evitabili che portano, ogni anno, a curare meno pazienti e non raggiungere il budget ospedaliero e quindi non permettere lo sviluppo e l'investimento in nuove attrezzature e formazione.



## CONCLUSIONI

Il tema dell'efficientamento dei processi ospedalieri ed in particolare della programmazione operatoria chirurgica è relativamente nuovo ed ancora poco sviluppato; la tendenza pertanto è quella di utilizzare modelli organizzativi e strategie di ottimizzazione da altri settori, in particolare quello industriale, attraverso opportuni adattamenti. Le "Linee di indirizzo per il governo del percorso del paziente chirurgico programmato" ministeriali forniscono un prezioso supporto al cambiamento della struttura organizzativa del blocco operatorio in quanto una inadeguata programmazione porta a curare meno pazienti, farlo in modo inefficiente e con diversi tempi morti. Il modello di intelligenza artificiale proposto in questo progetto fornisce eccellenti task di planning per via delle numerose variabili aleatorie che è in grado di modellare e prevedere (e.g. impatto sulla durata di un intervento dell'esperienza e dello stile operatorio del chirurgo per una determinata procedura, versatilità del chirurgo nell'uso di nuove tecnologie vs chirurgia tradizionale, coordinamento dei chirurghi inseriti nel team, stanchezza e carichi di lavoro del chirurgo, età, storia clinica e comorbidità, BMI del paziente, allergia o reazione a farmaci, ecc.); tali variabili possono essere oggi agevolmente estratte grazie alla disponibilità della cartella clinica elettronica ed ai sistemi di digitalizzazione del percorso chirurgico (ad es. ORMAWEB e DIGISTAT) Attraverso l'analisi di queste informazioni questo modello di intelligenza artificiale si pone pertanto in alternativa al modello tradizionale che prevede un tempo medio per intervento indipendentemente da tutte le variabili del paziente, della struttura e del sistema. L'utilizzo dell'intelligenza artificiale nella programmazione operatoria chirurgica è relativamente nuovo. In una recente revisione sistematica viene sottolineato come i modelli guidati da IA, in particolare di machine learning, dimostrano il potenziale di IA nell'aumentare in modo significativo l'efficienza, l'efficacia dei costi, e la sicurezza delle procedure chirurgiche. Vi sono tuttora delle limitazioni correlate alle difficoltà di accesso ai dati, ai problemi della privacy ed alla necessità di studi estesi di validazione ma è evidente sempre di più che l'integrazione della IA nel *management* delle sale operatorie porterà a migliorare la qualità di cura e l'*outcome* dei pazienti chirurgici.

## RIFERIMENTI NORMATIVI

Ministero della Salute “Piano nazionale di governo delle liste di attesa per il triennio 2019-2021” anno 2019

DGR n. 231 7 marzo 2023. Linee di indirizzo per il governo del percorso del paziente chirurgico programmato.

Accordo 9 luglio 2020 (approvato dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri – Conferenza permanente per i rapporti tra lo stato, le Regioni e le province autonome di Trento e Bolzano), n. 100 “Linee di indirizzo per il governo del percorso del paziente chirurgico programmato”.

DGR n. 20 – 6920 del 22 maggio 2023 – aggiornamento luglio 2023. Piano operativo per il recupero delle liste di attesa. Regione Piemonte.

DGR 272/2017: strumenti, azioni e risultati nelle Aziende Sanitarie ad un anno dalla approvazione. Riduzione dei tempi di attesa dei ricoveri chirurgici in Emilia Romagna.

DGR Regione Lombardia 780 31 luglio 2023 – Adozione del Piano operativo regionale anno 2023 per le attività di recupero delle prestazioni ambulatoriali e di ricovero ospedaliero non erogate nel periodo dell'emergenza epidemiologica da SARS-Cov-2 anni 2020 – 2021.

DGR Regione Lombardia 780 26 giugno 2023 – Approvazione del Piano Operativo regionale per il contenimento dei tempi di attesa per le prestazioni di specialistica ambulatoriale e di ricovero previste nel PNGLA e ulteriori azioni sull'appropriatezza prescrittiva.

## BIBLIOGRAFIA

- Briani M., Scibetta D. (2021) Presentazione al Master Universitario di 2\* livello "Operation Management nelle Aziende Sanitarie 2020-2021, Università Cattolica del Sacro Cuore ALTEMS, "Innovazione ed efficienza nella gestione delle sale operatorie – Un caso reale": il progetto OLSS 16 Padova".
- Boscolo P.R., Fenech L., Giudice L., Lecci F., Rotolo A., Tarricone R. (2022) *Liste e tempi di attesa in sanità. Innovazioni, soluzioni, e sfide per le regioni e le aziende sanitarie italiane*. Egea, Milano.
- Buccioli M. Presentazione agli incontri organizzati dal Ministero 2020, "Monitoraggio percorso chirurgico tempi ed indicatori".
- Colombo A., Marsilio M. (2021). *La gestione delle risorse umane*. Formazione manageriale in sanità. Polis Lombardia. Guerini e Associati.
- Danna E. (2021). *Gestione ed ottimizzazione del blocco operatorio. Innovazione ed efficienza nel governo delle sale operatorie al servizio della qualità e della sicurezza*. Tesi di Laurea Magistrale Politecnico di Torino.
- Fairley M, Scheinker D., Brandeau M.L. (2019) *Improving the efficacy of the operating room environment with an optimization and machine learning model*. Health Care Manag Sci
- Lega F. (2001). *Logiche e strumenti di gestione per processi in sanità*. McGraw-Hill.
- Jaideep J, Pandit (2019). *Practical operating theatre management: measuring and improving performance and patient experience*. Editor: Cambridge.
- Jones G. (2013) *Organizzazione. Teoria, progettazione, cambiamento*. Egea, Milano.
- Marsilio M., Prenestini A. (2020) *Il management delle aziende sanitarie in tempo di crisi. Sfide e soluzioni gestionali e operative all'emergenza Covid-19*. McGraw Hill.
- Prenestini A. Presentazione al Convegno AICC 2020. "Fondamenti di operations management: la gestione operativa in sanità".
- Carbone C., Lega F., Prenestini A. (2010) *Governance e organizzazione delle Aziende Ospedaliere – Universitarie*. EGEA, Milano.
- Bellini V., Russo M., Domenichetti T., Panizzi M., Allai S., Bignami E.G. (2024) Artificial intelligence in operating room management. *J Med Syst*48:19.

