



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**

**DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA
DELL'INFORMAZIONE**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA BIOMEDICA

**“Digitalizzazione e gestione del ciclo di vita delle tecnologie
biomediche: il caso AULSS 7 Pedemontana”**

Relatore: Prof. Giovanni Sparacino

Laureanda: Giada Rigon

Correlatore: Ing. Sofia Panagiotakopoulou (AULSS 7)

ANNO ACCADEMICO: 2025 – 2026

Data di laurea: 25 Settembre 2026

Abstract

Uno dei ruoli dell'ingegnere clinico è quello di riuscire a determinare preventivamente quando un'apparecchiatura è prossima al fine di vita utile, così da poter intervenire tempestivamente. La gestione del ciclo di vita delle apparecchiature biomedicali, infatti, è un argomento di fondamentale importanza quando si parla di garantire la sicurezza dei pazienti e l'efficienza dei servizi sanitari stessi: un'apparecchiatura "vecchia" e obsoleta comporterebbe solamente difficoltà di gestione e costi aggiuntivi per l'azienda.

Grazie alle nuove tecniche di Machine Learning è possibile creare un sistema che consenta di stabilire e prevedere lo stato di un'apparecchiatura.

Questa tesi mostra come, attraverso l'esempio di tre macro-classi di apparecchiature, sia possibile quindi definire lo stato di un dispositivo, in modo da costruire un vero e proprio supporto alle decisioni. L'Azienda ULSS 7 Pedemontana gestisce un sistema informatico in grado di raccogliere le informazioni utili per costruire lo storico di partenza base su cui poter effettuare le analisi che, come sarà possibile osservare, metteranno in luce l'efficienza e l'importanza che risiede dietro tale attività.

Indice

<i>CAPITOLO 1: Introduzione.....</i>	<i>1</i>
1.1 Contesto Aziendale: ULSS 7 Pedemontana.....	1
1.2 Ruolo della digitalizzazione in un ALS.....	2
1.3 Obiettivo del tirocinio.....	2
<i>CAPITOLO 2: Strumenti e metodologie di analisi</i>	<i>5</i>
2.1 Il software di gestione: Biogest-NT	5
2.2 Strategie di manutenzione ospedaliera tradizionali	6
2.2.1 Manutenzione correttiva	7
2.2.2 Manutenzione preventiva	7
2.3 Apparecchiature biomedicali in esame.....	7
2.3.1 Cappe	7
2.3.2 Defibrillatori	8
2.3.2 Ecotomografi	9
2.4 KPI – Indicatori per l’analisi dei guasti	10
2.5 Integrazione AI – NotebookLM	11
2.5.1 Verso la manutenzione predittiva	11
<i>CAPITOLO 3: Analisi dei dati e risultati</i>	<i>13</i>
3.1 Metodologia di calcolo dei KPI.....	13
3.2 Cappe	14
3.2.1 Risultati.....	14
3.2.2 Analisi.....	14
3.3 Defibrillatori.....	14
3.3.1 Risultati.....	14
3.3.2 Analisi.....	15
3.4 Ecotomografi.....	15

3.4.1 Risultati.....	15
3.4.2 Analisi.....	16
<i>CAPITOLO 4: Discussione e proposte di Replacement Planning.....</i>	<i>17</i>
4.1 Sintesi degli insight e analisi critiche	17
4.2 Supporto alle decisioni strategiche.....	19
<i>CAPITOLO 5: Conclusione e sviluppi futuri.....</i>	<i>23</i>
<i>Bibliografia e sitologia</i>	<i>25</i>

CAPITOLO 1: Introduzione

1.1 Contesto Aziendale: ULSS 7 Pedemontana

L'Azienda Unità Locale Socio-Sanitaria ULSS 7 Pedemontana si impegna a prestare servizi sanitari nel territorio pedemontano; in particolare opera a livello dei comuni di Bassano, dell'Alto Vicentino e dell'Altopiano dei sette comuni. I servizi erogati sono resi disponibili grazie alle strutture tecnico-funzionali in cui l'Azienda si articola; tra queste vi sono: le strutture dipartimentali, le unità operative complesse, le unità operative semplici, i servizi e altre articolazioni territoriali. [1]

La sede di studio è proprio l'Ospedale San Bassiano a Bassano del Grappa e, nello specifico, l'Unità Operativa di Ingegneria Clinica, il cui obiettivo principale è quello di assicurarsi che tutte le apparecchiature facenti parte dell'Azienda funzionino in maniera sicura, efficace ed economica, in modo da poter garantire la continuità delle cure, la qualità delle prestazioni sanitarie e la sicurezza dei pazienti. [2], [3]

A tutti gli effetti, uno dei ruoli dell'ingegnere clinico è quello di contribuire fortemente alla pianificazione per l'acquisto di nuove tecnologie. Il programma comprende la valutazione dell'obsolescenza delle apparecchiature in modo da dare priorità per la dismissione o per la sostituzione, e la garanzia della continuità dell'erogazione delle prestazioni sanitarie in relazione all'uso delle tecnologie che, invece, comprende la gestione della manutenzione.

Poiché le tecnologie mediche oramai sono diventate indispensabili per le moderne pratiche sanitarie, l'approfondita conoscenza della strumentazione garantisce il massimo utilizzo delle apparecchiature e consente di individuare eventuali cause d'errore. Col tempo però, in particolare con il continuo progresso tecnologico, è aumentata la complessità d'uso, di gestione e di costi, comportando così un maggiore rischio per la sicurezza degli operatori ma, soprattutto, dei pazienti. Per questo motivo la figura dell'ingegnere clinico sta diventando sempre più importante.

1.2 Ruolo della digitalizzazione in un ALS

Poiché le strutture sanitarie quali le Aziende Sanitarie Locali, tra cui l'ULSS 7 Pedemontana, fanno sempre più affidamento alle macchine che sfruttano le nuove conoscenze tecnologiche, tali apparecchiature sono diventate a tutti gli effetti una parte fondamentale per il trattamento dei pazienti; identificare la fase del loro “ciclo di vita” e prevedere i guasti, a sua volta, diventa uno degli aspetti cruciali per tutelare la salute degli assistiti.

Gli approcci per la manutenzione correttiva e preventiva (gli approcci tradizionali) richiederebbero molto tempo, e risultano spesso approssimativi, inefficaci e costosi; grazie alle nuove tecniche di *Machine Learning (ML)* è infatti possibile usufruire dei servizi di *AI* per promuovere la manutenzione predittiva e, quindi, riuscire effettivamente ad accelerare il processo di analisi, avviare una prima indagine sulle apparecchiature e prevenire guasti critici. [4]

Si vedrà, nello specifico, come l'analisi delle frequenze di guasto richieda di prestare particolare attenzione durante l'acquisizione dei dati: è necessario, infatti, che questi siano presi correttamente e senza discrepanze. Dati accurati e ben gestiti (ovvero dati di “qualità”) consentono di avere una comprensione completa del parco macchine e perciò di poter adottare decisioni strategiche. [5]

Di fondamentale importanza è l'utilizzo di un sistema informatico efficiente che consente di ottimizzare le attività gestionali, al fine di migliorare la qualità del lavoro, ridurre i costi di manutenzione e promuovere la sicurezza dei dispositivi medici.[4], [6]

1.3 Obiettivo del tirocinio

L'attività di tirocinio ha offerto un ampio excursus sull'importanza dell'analisi delle frequenze di guasto delle apparecchiature biomedicali, permettendo così di proporre una pianificazione per il monitoraggio, la manutenzione o la sostituzione di tali dispositivi. Attraverso una serie di dati e di calcoli è infatti possibile definire in che stato del “ciclo di vita” si trova un dispositivo medico e, in caso di necessità, intervenire operativamente.

La valutazione deve essere realizzata per ogni classe di apparecchiatura, al fine di garantire una migliore prestazione dei servizi sanitari. Occorre inoltre considerare che in un contesto quale l'Azienda Ospedaliera, il numero dei macchinari è di grande portata; riuscire a mantenere tutti i dispositivi medici in buone condizioni rappresenta quindi una vera e propria sfida per l'ingegnere clinico.

Oggetto di questo studio sono in particolare tre macro-classi di apparecchiature: le cappe, i defibrillatori e gli ecotomografi, che nel loro complesso consentono di fornire un'ampia panoramica di quella che è l'attività proposta. Per poter raggiungere lo scopo del progetto, infatti, il lavoro è stato diviso in quattro parti: nella prima vi è la raccolta dei dati, nella seconda la loro lavorazione, nella terza l'analisi effettuata grazie ad un supporto di *Artificial Intelligence (AI)* e, infine, lo studio e la discussione dei risultati proposti.

CAPITOLO 2: Strumenti e metodologie di analisi

2.1 Il software di gestione: Biogest-NT

Uno dei passaggi critici per la realizzazione della prima e la seconda parte del progetto risulta essere l'acquisizione dei dati con la sua successiva lavorazione; tale processo è stato reso possibile grazie al software gestionale sviluppato da Hospital Consulting S.p.A.: Biogest-NT. Si tratta di un sistema integrato che consente <<...di rispondere alle specifiche esigenze di un reparto quale quello di Ingegneria Clinica.>> [7]

In particolare si tratta di un software “*web based*” mirato a garantire una maggiore accessibilità delle informazioni grazie ad un'organizzazione funzionale; l'interfaccia di Biogest-NT è modulare: programmata in modo che l'utente possa spostare o togliere/inserire blocchi in tempo reale; in questo modo offre la possibilità di scegliere sezioni dedicate per inventario, manutenzioni, richieste di intervento, collaudi e indicatori di *Business Intelligence*. [7]

In definitiva, questo software consente di gestire a tutti gli effetti un sistema di inventario sufficientemente accurato; permettendo di poter tenere traccia di tutte le accortezze necessarie; in questo modo, per ogni singola apparecchiatura (identificata da un'etichetta segnaletica con il numero di inventario) è possibile tracciarne la storia: eventuali avvisi, richiami, guasti con successive riparazioni e manutenzioni. [8]

Per illustrare la struttura dei dati forniti dal sistema, si riporta una tabella (**Tab. 2.1**), dove viene rappresentato un esempio per ciascuna classe di apparecchiature facente parte dell'oggetto di studio, che saranno poi maggiormente approfondite nel paragrafo 2.3. Si può notare come la selezione dei dati sia in realtà riconducibile a pochi parametri, tra cui il codice di inventario (di fondamentale importanza per il tracciamento), la descrizione dell'apparecchiatura accompagnata dal costruttore e dal modello (la cui importanza viene approfondita nei paragrafi 4.1 e 4.2), la valorizzazione, la data di collaudo, il numero totale di guasti e, infine, l'età “reale” dell'apparecchiatura (i valori delle ultime due colonne sono stati calcolati manualmente, grazie alle funzionalità del calcolatore *Excel*, da cui proviene l'estratto della tabella).

Tab. 2.1 - Esempi di apparecchiature con i rispettivi parametri scelti per l'analisi

<i>Inventario</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Costruttore</i>	<i>Modello</i>	<i>Valore</i>	<i>Canone manutenzione</i>
1-CES-782350	Cappa Aspirante	GRUPPO STROLA	GS 900	€ 3.381,75	€ 140,73
1-CES-816574	Cappa Flusso Laminare	BIOAIR	S@FEMATE 1.2	€ 6.820,00	€ 152,29
1-CES-806256	Cappa Biologica	THERMO FISHER SCIENTIFIC	HERASAFE KS 12	€ 9.898,20	€ 411,91
1-BAS-92202	Defibrillatore Semiautomatico	ZOLL MEDICAL	AED PLUS	€ 990,00	€ 41,20
829803	Defibrillatore Automatico	NIHON KOHDEN	AED 3100	In garanzia	€ 0,00
1-CES-818000	Ecotomografo	HITACHI MEDICAL CORP	ARIETTA V70	€ 99.876,00	€ 4.156,34
1-BAS-94946	Ecotomografo Portatile	GE HEALTHCARE	LOGIQ E	€ 28.380,00	€ 1.181,03

Tab. 2.2 - Esempi di apparecchiature con i rispettivi parametri scelti per l'analisi

<i>Inventario</i>	<i>Data Collaudo</i>	<i>Tot. Guasti</i>	<i>Età</i>
1-CES-782350	2003	1	23
1-CES-816574	2020	2	6
1-CES-806256	2012	1	14
1-BAS-92202	2018	1	8
829803	2025	0	1
1-CES-818000	2020	0	6
1-BAS-94946	2019	10	7

2.2 Strategie di manutenzione ospedaliera tradizionali

Quando si parla di un contesto quale un'Azienda Sanitaria, un guasto ad un'apparecchiatura biomedicale può comportare un grave rischio sia per la salute di un paziente, sia per quella dell'operatore; anche un semplice errore di calibrazione può portare ad un'errata diagnosi della malattia. Per questo motivo, risulta fondamentale stabilire un sistema di manutenzione per ogni singola apparecchiatura presente, al fine di prevenire i guasti e, quindi, tutelare la salute. [9]

Facendo riferimento alla manutenzione, esistono dapprima due approcci tradizionali: la manutenzione correttiva e la manutenzione preventiva.

2.2.1 Manutenzione correttiva

La manutenzione correttiva viene eseguita nel momento in cui viene registrato un guasto all'apparecchiatura: l'operatore si attiva prontamente per identificare ed eliminare l'anomalia. [10]

2.2.2 Manutenzione preventiva

La manutenzione preventiva si basa sul definire, in maniera periodica, interventi di manutenzione. Questo avviene però senza conoscere effettivamente lo stato reale in cui versa l'apparecchiatura; in questo modo i macchinari vengono continuamente controllati ma non si possono prevenire guasti improvvisi.[11]

2.3 Apparecchiature biomedicali in esame

2.3.1 Cappe

In questa prima macro-classe, che rappresenta uno dei più importanti sistemi di sicurezza che possono essere installati in diversi reparti dell'Ospedale grazie alle loro molteplici applicazioni, si possono distinguere:

- *Cappe a flusso laminare*: consentono all'operatore di lavorare in ambiente completamente sterile, proteggendo il prodotto da possibili contaminazioni esterne; inoltre, sono progettate in modo che l'aria ricircoli nella stessa stanza dopo essere stata filtrata; [12] (**Fig. 2.2**)
- *Cappe aspiranti*: grazie alla loro aspirazione frontale, consentono di proteggere l'operatore dai vapori nocivi prodotti durante la manipolazione delle sostanze chimiche; a differenza delle prime però, non presentano un sistema di canalizzazione esterno; [13] (**Fig. 2.3**)
- *Cappe biologiche*: in grado di proteggere contemporaneamente l'operatore, l'ambiente e il prodotto grazie alla presenza di filtri *High Efficiency Particulate*

Air (HEPA), in grado di catturare la maggior parte delle particelle microscopiche. [14] (**Fig. 2.4**)



Fig. 2.2 *Cappa a flusso laminare - S@FEMATE TOTAL*
(Tratta da [12])



Fig. 2.3 *Cappa aspirante da banco - GS1800*
(Tratta da [13])



Fig. 2.4 *Cappa biologica - HERASAFE KS 12*
(Tratta da [15])

2.3.2 Defibrillatori

La seconda macro-classe in esame è costituita dai defibrillatori, ovvero apparecchiature “...in grado di erogare al paziente una scarica elettrica controllata e adeguata a interrompere un’aritmia cardiaca.” [16] In particolare, è possibile definire due tipi principali di defibrillatori:

- *Defibrillatori automatici*: sono in grado di identificare il ritmo cardiaco per poi, erogare la scarica elettrica senza l’intervento dell’operatore; (**Fig. 2.5**)

- *Defibrillatori semiautomatici*: sono in grado autonomamente di identificare il ritmo cardiaco, determinare la necessità della scarica e indicare all'operatore di erogarla tramite la pressione di un pulsante. (**Fig. 2.6**)



Fig. 2.5 Defibrillatore automatico – AED 3100
(Tratta da [17])



Fig. 2.6 Defibrillatore semiautomatico – AED PLUS
(Tratta da [18])

2.3.2 Ecotomografi

Gli ecotomografi (chiamati anche ecografi) sono degli strumenti che vengono impiegati nelle tecniche di ecografia (o ecotomografia). Lo strumento è dotato di una sonda che, grazie alla presenza di piccoli trasduttori piezoelettrici, emette delle onde ultrasonore che sono in grado di penetrare nei tessuti e restituire un'immagine sul *display*. [19]

Nel corso dell'analisi verranno principalmente distinti due tipi di ecotomografi, la cui differenza risiede nelle loro dimensioni e, di conseguenza, nel loro campo di applicazione. Essi si suddividono in:

- *Ecografi portatili*: <<...progettati per offrire massima mobilità e facilità d'uso, consentendo ai clinici di eseguire esami diagnostici direttamente al letto del paziente o in ambienti extraospedalieri, come ambulanze, unità mobili o centri medici remoti.>>; [20] (Vedi **Fig. 2.7**)
- *Ecografi carrellati (o fissi)*: <<Questi dispositivi sono ideali per reparti ospedalieri specializzati, dove la necessità di eseguire esami approfonditi si accompagna a un'esigenza di rapidità ed efficienza operativa.>>. [20] (Vedi **Fig. 2.8**)



Fig. 2.7 Ecotomografo portatile - LOGIQ E
(Tratta da [21])



Fig. 2.8 Ecotomografo a carrello - ARIETTA V70
(Tratta da [22])

2.4 KPI – Indicatori per l’analisi dei guasti

L’acronimo KPI viene utilizzato per definire i *Key Performance Indicators*, ovvero una serie di indicatori che vengono usati per valutare le prestazioni di manutenzione delle apparecchiature. Vengono definiti sulla base di specifiche norme che regolano l’organizzazione della manutenzione, in particolare: la norma UNI EN 13306:2008 che ha un obiettivo economico (è necessario prendere in considerazione i costi) e la norma CEI EN 62353 che invece stabilisce quali sono i requisiti per le prove di sicurezza durante i controlli periodici o dopo una riparazione. [23],[24]

In base ai dati forniti e per lo scopo del progetto, sono stati scelti quattro parametri:

- *Età media e % > 8 anni*: detti anche “indicatori di fase”, poiché definiscono in che fase del ciclo di vita si trova l’apparecchiatura; in generale, se per un’apparecchiatura viene registrata un’età superiore agli 8 anni (soglia) questa entrerà nella sua fase di obsolescenza;
- *Guasti all’anno*: detti anche “indicatori di affidabilità nel tempo”. Generalmente all’aumentare dell’età “reale” di un’apparecchiatura, i guasti registrati diventano sempre più frequenti; perciò, se un’apparecchiatura “giovane” registra un numero elevato di guasti, è necessario verificare il caso più nel dettaglio;
- *Costo manutenzione totale*: definito anche come “indicatore di sostenibilità economica” e serve per misurare il “costo di vita” di un’apparecchiatura.

Generalmente, per alcune apparecchiature tale parametro dovrebbe risultare assente, se non molto basso, poiché definite “giovani” e si trovano ancora sotto contratto, perciò in garanzia. [25]

2.5 Integrazione AI – NotebookLM

Come già precedentemente descritto, è possibile usufruire delle tecniche di *AI* e, in particolare, dei modelli linguistici basati sul *Deep Learning*. Tali modelli sono in grado di analizzare i dati e, attraverso uno specifico modello, elaborarli in tempo reale, riuscendo così a prevedere le prestazioni future della macchina e i potenziali guasti. [26] Il software utilizzato per questo caso di studio è *NotebookLM*: si tratta di uno strumento sviluppato da *Google* che, a differenza degli altri sistemi di *AI*, è in grado di elaborare e fornire risposte grazie alle sole fonti caricate. [27] Questo fa sì che il software rappresenti a tutti gli effetti un vero e proprio supporto alle decisioni, un elaboratore che aiuta a facilitare la lettura dei risultati e proporre un approccio risolutivo.

2.5.1 Verso la manutenzione predittiva

La manutenzione predittiva sta diventando l’approccio più comunemente usato perché consente di stimare lo stato dell’apparecchiatura e prevedere i guasti futuri; inoltre, consente di pianificare intelligentemente uno schema di manutenzione che, come già visto nel capitolo 1.1, rappresenta uno dei ruoli fondamentali dell’ingegnere clinico. [9]

Grazie all’applicazione delle tecniche di *AI*, è possibile ottenere un’analisi veloce ed efficiente, senza difficoltà nelle procedure di calcolo. Gli ingegneri clinici possono quindi integrare le tecniche di manutenzione con tecniche che sfruttano un modello linguistico per gestire utilmente le attività di manutenzione. [28]

Di fondamentale importanza per avere un modello il più preciso possibile o, perlomeno, che si avvicini molto alla realtà è avere il maggior numero di dati possibile e strutturati correttamente in modo che sia possibile misurare al meglio la qualità di un’apparecchiatura. In questo modo il tipo di approccio adottato può essere definito empirico (di natura statistica). [29] [9]

CAPITOLO 3: Analisi dei dati e risultati

3.1 Metodologia di calcolo dei KPI

Come già specificato nel paragrafo 2.4 partendo dalla tabella *Excel*, che segue il modello della **Tab. 2.1**, e usufruendo delle sue funzioni di calcolo, è possibile applicare delle formule per ottenere i 4 *KPI*.

In particolare, di fondamentale importanza è anche il numero totale di macchinari (N) che serve a fornire un primo sguardo generale per capire di che portata e, di conseguenza, a quante apparecchiature si sta facendo riferimento rispetto all'intero parco macchine.

Successivamente, per consentire una maggior efficienza e velocità di calcolo, è sufficiente applicare un filtro per scegliere la categoria a cui fare riferimento.

In questo modo si può poi procedere a calcolare gli indici di *performance*:

- *Età media*: dato l'intero inventario associato alla categoria scelta, è sufficiente calcolare la media aritmetica dei dati presenti nella colonna "Età";

$$Età\ media = \frac{\sum_{i=1}^N Età_i}{N}$$

- *Guasti all'anno*: si esprime dapprima il tasso di guasto singolo per ogni macchinario ($Guasti_i$) e successivamente se ne calcola la media;

$$Guasti_i = \frac{Tot.guasti_i}{Età} \quad \overline{Guasti\ all'anno} = \frac{\sum_{i=1}^N Guasti_i}{N}$$

- *Costo manutenzione tot.*: si calcola facendo la somma dei dati presenti nella colonna "Canone manutenzione" di tutti gli N macchinari registrati;

$$Costo\ manutenzione\ tot. = \sum_{i=1}^N Canone\ manutenzione_i$$

- $\% > 8$ (anni): calcola l'incidenza totale dei dispositivi che nella colonna "Età" registrano un valore superiore a 8 (valore soglia, indice di obsolescenza).

$$\% > 8 = \left(\frac{N_{Età > 8}}{N} \right) \times 100$$

Ogni formula viene poi applicata per ogni marco-classe dell'oggetto di studio.

3.2 Cappe

3.2.1 Risultati

Come definito nel paragrafo 3.1, si applicano le metriche di calcolo per i 36 dispositivi facenti parte della prima macro-classe di apparecchiature in esame.

Si ottiene la tabella:

Tab. 3.1 – *KPI per l'analisi delle cappe*

<i>Classe</i>	<i>Num. Totale</i>	<i>Età media</i>	<i>Guasti all'anno</i>	<i>Costo manutenzione tot.</i>	<i>% > 8 anni</i>
Aspirante	19	15,00	7,25	€ 1.152,49	10,53%
Biologica	8	16,33	1,67	€ 884,58	25,00%
A flusso laminare	9	20,00	2,40	€ 1.213,10	33,33%

3.2.2 Analisi

Guardando la Tab. 3.1 si può subito notare che le cappe più numerose sono rappresentate dalla classe delle “aspiranti” (19) e che, allo stesso tempo rappresentano anche la classe che registra il numero più alto di guasti all’anno (7,25).

Si può anche osservare inoltre, che le cappe “a flusso laminare” rappresentano le apparecchiature con un’età media registrata più elevata (20,00) e, di conseguenza, registrano una percentuale maggiore di dispositivi che hanno un’età “reale” superiore agli 8 anni (33,33%); a questa categoria corrisponde inoltre il costo di manutenzione totale più elevato (€ 1.213,10).

3.3 Defibrillatori

3.3.1 Risultati

Facendo riferimento al paragrafo 3.1, è possibile applicare le stesse formule per il calcolo dei *KPI* dei 250 defibrillatori rappresentanti la seconda macro-classe in esame, ottenendo così la seguente tabella:

Tab. 3.2 – KPI per l'analisi dei defibrillatori

<i>Classe</i>	<i>Num. Totale</i>	<i>Età media</i>	<i>Guasti all'anno</i>	<i>Costo manutenzione tot.</i>	<i>% > 8 anni</i>
Automatici	2	1,00	0,00	€ 0,00	0,00 %
Semiautomatici	248	6,23	3,00	€ 16.391,78	24,60%

3.3.2 Analisi

Dalla **Tab. 3.2** è possibile subito notare che il numero dei defibrillatori rappresentato dalla classe “automatici” è composta da solamente 2 dispositivi e che, nelle colonne “guasti all’anno”, “costo manutenzione totale” e “% >8” il valore risulta essere pari a zero.

Nel caso dei defibrillatori semiautomatici, invece, l’età media della classe è inferiore agli 8 anni e la percentuale delle apparecchiature obsolete è poco inferiore ad un quarto della flotta (24,60%). La spesa maggioritaria, se non in questo caso totale, è rappresentata da quest’ultima classe (€ 16.391,78).

3.4 Ecotomografi

3.4.1 Risultati

Allo stesso modo, si applica la stessa metrica di calcolo per l’ultima macro-classe di apparecchiature rappresentate dai 148 ecotomografi.

Si ottiene così la seguente tabella:

Tab. 3.3 – KPI per l'analisi degli ecotomografi

<i>Classe</i>	<i>Num. Totale</i>	<i>Età media</i>	<i>Guasti all'anno</i>	<i>Costo manutenzione tot.</i>	<i>% > 8 anni</i>
Carrello/ Fissi	104	9,13	4,44	€ 200.960,68	38,46 %
Portatili	44	7,19	2,87	€ 25.409,48	29,54 %

3.4.2 Analisi

Osservando la **Tab. 3.3** risulta subito evidente che la parte più critica di questo reparto macchine è rappresentato dagli ecotomografi “carello/fissi” (104 dispositivi) che registrano un’età media superiore al valore soglia (9,13) con un’incidenza pari a 38,46 %; inoltre, il loro costo di manutenzione appare circa otto volte il valore appartenente agli ecotomografi portatili (€ 200.960,68).

CAPITOLO 4: Discussione e proposte di Replacement Planning

4.1 Sintesi degli insight e analisi critiche

Sulla base di quanto descritto nel paragrafo 2.5 è possibile usufruire dei modelli linguistici per una “visione interna” (*insight*) del parco macchine e facilitare i programmi di manutenzione.

Importante per l’analisi dei dati e, di conseguenza, per lo studio dell’*insight*, è il rapporto “manutenzione/valore” che mette a confronto il costo totale per gli interventi manutentivi rispetto al valore di mercato del dispositivo (nel caso in cui tale macchinario non sia coperto dalla garanzia), utilizzato per misurare l’efficienza economica:

$$\text{Manutenzione/Valore (\%)} = \left(\frac{\text{Costo manutenz.tot}}{\text{Valore}} \right) \times 100$$

Nel caso in cui il rapporto superasse il 5% - 7% (valore soglia), conviene sostituire l’apparecchiatura.

Successivamente viene riportata l’analisi interpretativa e strategica, per ogni macro-classe di apparecchiatura, sostenuta dal modello *NotebookLM*:

- *Cappe*: appare subito evidente, osservando la **Tab. 3.1**, che il caso più critico e con maggior impatto finanziario sia rappresentato dalle cappe a flusso laminare, la cui età media risulta essere di 20,00 anni e oltre il 33,33% dei dispositivi ha raggiunto l’obsolescenza. Per questa classe il rapporto “Manutenzione/Valore” è più alto poiché l’Azienda si vede costretta a spendere molti soldi per la manutenzione di apparecchiature tecnologicamente superate.

Il caso più sorprendente, invece, è rappresentato dalle cappe aspiranti perché, sebbene rappresentino la classe mediamente meno “vecchia”, il numero registrato di guasti è il più alto in assoluto con 7,25 guasti all’anno. Questo dato è un importante indice, poiché suggerisce che la criticità di questa classe di dispositivi non dipende dall’età dell’apparecchiatura, bensì dal suo utilizzo; si può quindi tradurre come uno “stress operativo” o come una carenza nella manutenzione; c’è da considerare inoltre, che un numero così elevato di guasti

incide anche sui tempi di “fermo macchina”, l’apparecchiatura infatti non risulta accessibile fino a quando l’operatore non avrà risolto il guasto.

Le cappe biologiche, invece, nonostante presentino un’età media di 16,33 anni con un numero di guasti registrati pari a 1,67, rappresentano anch’esse un rischio; infatti, il mancato guasto “meccanico” non implica una sicurezza operativa. Come già descritto nel capito 2.3.1, le cappe biologiche sono dotate di filtri *HEPA* che, garantiscono la sicurezza dell’operatore, dell’ambiente e dell’oggetto; siccome un quarto di dispositivi ha raggiunto l’obsolescenza, il rischio è che i filtri non siano integri e che quindi non possano garantire una sufficiente protezione.

- *Defibrillatori*: osservando la **Tab. 3.2** è possibile subito notare che i defibrillatori automatici, seppur rappresentino una piccolissima parte del parco macchine (solo 2 dispositivi), sono una classe totalmente affidabile perché registrano un’età media bassissima (1,00), un’obsolescenza pari allo 0% e, essendo tutti “in garanzia”, nessun costo di manutenzione.

Mentre nel caso dei defibrillatori semiautomatici, dei 248 dispositivi, è necessario fare un’ulteriore analisi più approfondita, poiché prendono in considerazione apparecchi distinti. Dalla tabella, infatti, nonostante l’elevato numero di dispositivi, il numero totale di guasti registrati all’anno pari a 3,00 e la percentuale di dispositivi obsoleti che è pari a quasi un quarto del parco macchine, sembrerebbe che tutta la classe rappresenti una criticità (vista la differenza con gli automatici) ma, nella realtà, il problema non risiede dietro la modalità operativa. Per questo motivo si distingue allora:

- *Defibrillatori Standard di nuova generazione*: come per i defibrillatori automatici, rappresentano una classe totalmente affidabile. Si tratta di 105 dispositivi con un’età media di 1,70 anni e che registrano un numero bassissimo di guasti all’anno pari a 0,80; un’altra peculiarità è che essendo “nuovi” risultano essere tutti coperti dalla garanzia e la percentuale di obsolescenza è pari allo 0%.
- *Defibrillatori Monitor*: presentano il valore più alto di guasti all’anno (7,37); si parla di 79 dispositivi con un’età media circa di 9 anni e con un parco macchine obsoleto del 50%. Un grosso impatto vi è soprattutto a

livello economico poiché a causa dei continui interventi tecnici richiesti la spesa risulta essere di circa €12.676,03 che, contribuisce fortemente al costo di manutenzione totale associato alla **Tab. 3.2**. Inoltre, se si calcola il rapporto “Manutenzione/Valore” questo risulterà inefficiente, il quale contribuisce a determinare l’influenza dell’impatto economico.

- *Defibrillatori di vecchia generazione*: costituiscono i restanti 64 dispositivi della classe e, sebbene registrino un numero di guasti molto basso (1,32 guasti all’anno), la loro età media è elevata (10,53 anni).
- *Ecotomografi*: infine, osservando la **Tab. 3.3**, si percepisce subito che gli ecotomografi a carrello/fissi rappresentano la classe più numerosa (104 dispositivi), più obsoleta (9,13 anni di media con una percentuale di “anzianità” di quasi il 40%) e con un costo di manutenzione molto più elevato degli ecotomografi portatili. In particolare, dall’analisi emerge un dato che, per la maggior parte dei dispositivi carrellati, si mantiene costante: il rapporto “Manutenzione/Valore”; il canone di manutenzione annuo, infatti, è fissato esattamente al 4,16% circa della valorizzazione iniziale; ma poiché il valore d’acquisto di queste apparecchiature è già inizialmente elevato, l’Azienda si vede costretta a pagare spese sostenute per apparecchiature tecnologicamente superate.

Per quanto riguarda gli ecotomografi portatili, con un’età media di 7,32 anni, si trovano in una fase “intermedia” e, nonostante abbiano un impatto economico considerevole (€25.109), nel complesso non rappresentano una classe di apparecchiature critiche.

4.2 Supporto alle decisioni strategiche

Sulla base dei dati raccolti e dalle analisi effettuate, è stato possibile costruire una matrice di priorità trasversale per la gestione e il rinnovo delle tecnologie, considerando il rischio di obsolescenza e l’impatto operativo ed economico. In questo modo è possibile distinguere le apparecchiature in base alla priorità, si individuando quali richiedono un intervento immediato o quali debbano essere sottoposte a monitoraggio.

Si definiscono come apparecchiature di:

- **Massima priorità:** le unità a cui viene associato un alto rischio e un alto impatto;
- **Media priorità:** le unità con un alto impatto operativo e un basso rischio latente;
- **Priorità di monitoraggio:** i macchinari che invece sono associati ad un rischio latente e un basso impatto immediato;
- **Bassa priorità:** le unità stabili.

Di seguito si analizzano le matrici di priorità per le tre macro-classi di macchinari:

Cappe:

- *Priorità massima:* comprende i macchinari che rappresentano un vero e proprio rischio per la sicurezza. In particolare, ne fanno parte i dispositivi con obsolescenza estrema (>20 anni), come i “Cluster” del 2003 che presentano ben 23 anni di anzianità. Avendo superato di circa tre volte la soglia di vetustà, questo rende la loro sostituzione non più rimandabile;
- *Priorità media:* concentrata maggiormente sui macchinari che costituiscono un impatto operativo ed economico. Si tratta di apparecchiature che registrano alte frequenze di guasti, che hanno costi di manutenzione troppo elevati o la cui scadenza del contratto è imminente. Rientrano in questa categoria dispositivi come l’unità “1-CES-811568” (con 25 richieste di intervento, un notevole costo per l’Azienda) o le cappe a flusso laminare che, hanno un costo di manutenzione più elevato e un’età media di 20 anni;
- *Priorità di monitoraggio:* include le apparecchiature che registrano frequenti fermi macchina o classi con invecchiamento “latente”. Vi si trovano le cappe aspiranti che, seppur essendo mediamente più “giovani”, presentano un’alta frequenza di guasti (7,25 all’anno), ciò suggerisce una revisione dei loro protocolli d’uso. Vi rientrano anche le cappe biologiche che, sebbene non registrino un alto numero di guasti, hanno un’elevata età media (16,33 anni); in questo caso, il monitoraggio serve a prevenire rischi di biosicurezza legati al degrado dei filtri;
- *Priorità bassa:* costituita da tutte le apparecchiature “giovani” e con un basso storico di guasti, come ad esempio la “HERASAFE KS 12” (1-CES-806256),

collaudata dopo il 2022 con 0-1 guasti registrati. Questi macchinari garantiscono la massima continuità operativa con il minimo dispendio economico.

Defibrillatori:

- *Priorità massima:* categoria costituita dai defibrillatori monitor che presentano un tasso di guasto insostenibile (7,37 guasti all'anno) e assorbono la maggior parte del costo totale di manutenzione (€ 12.676,03 su € 15.761,03 totali). Un esempio critico è rappresentato dai modelli “Zoll M series” del 2003 che registrano 4 guasti all'anno. Trattandosi delle unità con il più alto rischio operativo e il maggior drenaggio di risorse economiche è necessaria una sostituzione immediata.
- *Priorità media:* comprende i dispositivi più vetusti, che possono raggiungere anche i 23 anni di età. Ne fanno parte i defibrillatori semiautomatici bifasici, che registrano l'età media più alta (10,53 anni) e dei quali il 45,31% delle unità ha superato la soglia critica. Pur mantenendo una stabilità temporanea (1,32 guasti/anno), l'usura dei componenti interni espone la struttura a un rapido incremento dei guasti. Modelli come il “Philips Heartstart FR2+” del 2010 rappresenta un rischio latente di inaffidabilità, è consigliabile pertanto una programmazione finanziaria per evitare un improvviso collasso delle apparecchiature.
- *Priorità di monitoraggio:* include i dispositivi “giovani” che presentano tuttavia una frequenza di guasto anomala. Ad esempio, lo “Schiller Defigard HD 7” che, nonostante abbia 5 anni di età utile e sia ancora coperto da garanzia, ha registrato in totale 7 guasti. Si suggerisce quindi di avviare un'analisi trasversale approfondita per verificare se l'anomalia dipenda dal modello o nella modalità di utilizzo nel reparto.
- *Priorità bassa:* comprende le apparecchiature recenti installate tra il 2024 e il 2025, le quali garantiscono la massima operatività a costo zero per l'azienda grazie alla totale copertura della garanzia.

Ecotomografi:

- *Priorità massima:* costituita soprattutto dagli ecotomografi fissi, questa è a tutti gli effetti la categoria più critica sotto ogni punto di vista, con un'età media di 9,13 anni e il 38,46% delle macchine che supera gli 8 anni, inoltre, questi dispositivi costituiscono la maggior parte del costo di manutenzione (€ 200.960,68). È necessaria quindi la loro immediata sostituzione; un caso critico è rappresentato dal “Philips iU 22” con un'età utile di 18 anni.
- *Priorità media:* include gli ecotomografi portatili che, sebbene abbiano un'età media elevata (il 29,54% ha superato gli 8 anni) e un tasso di guasti inferiore (2,87) rispetto a quelli fissi, rappresentano comunque una classe rilevante. Il suggerimento è quello di monitorare i modelli che si avvicinano alla soglia dei 7-8 anni (come il “GE Logiq E” di 7 anni) e di programmarne la sostituzione prima che i costi manutentivi e i fermi macchina diventino insostenibili.
- *Priorità di monitoraggio:* costituita dalle sonde wireless che, pur mostrando un'età media elevata (7,80 anni) e un'incidenza di guasti superiore ai portatili (3 all'anno), rappresentano il futuro della portabilità. La strategia consiste nel promuovere il rinnovo delle unità più vecchie.
- *Priorità bassa:* sono i dispositivi più recenti con il minor impatto economico, come gli elaboratori. Viene promossa una manutenzione ordinaria.

CAPITOLO 5: Conclusione e sviluppi futuri

Il fine del progetto svolto durante l'attività di tirocinio era quello di mostrare, grazie all'analisi di tre macro-classi di apparecchiature (cappe, defibrillatori ed ecotomografi), come la digitalizzazione consenta di ottimizzare la gestione del parco macchine.

Manualmente, usufruendo delle tecniche di manutenzione tradizionali come quelle correttive e preventive (paragrafo 2.2), il processo risulterebbe lungo e laborioso, ma grazie ai modelli linguistici come *NotebookLM* può diventare, come si è visto, veloce e accurato, consentendo così di automatizzare l'analisi dei flussi di guasto e fornendo un supporto efficace orientato alla manutenzione predittiva e al *Replacement planning*, con l'obiettivo di ridurre i costi di gestione e massimizzare la sicurezza dei pazienti.

Questo, rappresenta uno sviluppo importantissimo: in questo modo, infatti, l'ingegnere clinico è in grado di compiere il suo ruolo e di gestire, in modo controllato e preciso, l'intero parco macchine.

Come precedentemente evidenziato nell'introduzione, il fattore limitante principale risiede nella prima fase, ovvero quella di acquisizione dei dati. Sebbene sia presente un software gestionale quale Biogest-NT, molto spesso mancano dei dati. Ad esempio, alcuni dispositivi risultano privi di inventario, e ciò impedisce il corretto tracciamento (alcuni dati per quel macchinario possono anche essere scritti, ma in questo modo non ritenuti affidabili), oppure alcuni macchinari risultano privi di valori per il canone di manutenzione, la data di collaudo, ecc., queste assenze rendono quindi l'analisi più complessa ma soprattutto meno accurata. Si è notato soprattutto come le apparecchiature "incomplete" siano rappresentate principalmente dai macchinari più "vecchi"; ciò può essere spiegato dal fatto che, con molta probabilità, non vi erano ancora tutte le tecnologie e i software di cui ora si può disporre e che la diligenza verso tale attività non fosse di fondamentale importanza o attenzione.

Una buona raccolta dei dati è rilevante non solo per gli operatori, ma anche per i modelli linguistici che sono l'unica base da cui l'*AI* può partire per produrre l'analisi. Non potendo avere tutte le informazioni su cui lavorare, quindi, anche nella seconda

parte del progetto (elaborazione dei dati), dove viene richiesto di determinare e calcolare gli “indicatori di performance”, questi ultimi non possono essere ritenuti accurati al 100%, cosicché non possa essere precisa nemmeno l’analisi finale e, con essa, le matrici di priorità.

Un’altra discrepanza, oltre alla qualità dei dati, è stata riscontrata nella quantità delle informazioni reperibili per ogni apparecchiatura. Sebbene queste siano risultate sufficienti per poter calcolare i *KPI* come età media, guasti all’anno, costo manutenzione e $\% > 8$ anni (si veda paragrafo 3.1), dati in più riguardo al tipo di guasto o al tempo di fermo della macchina, avrebbero potuto fornire ulteriori elementi utili a una migliore valutazione generale della macchina.

Qualsiasi dato riguardante la sola apparecchiatura può risultare di fondamentale importanza: può capitare, infatti, che alla fine del piano di manutenzione (*Replacement planning*), i dispositivi che richiedono un maggior controllo o che devono essere sostituiti appartengano allo stesso costruttore o allo stesso modello; in questo modo l’operatore può svolgere un’ulteriore analisi per verificare se quella sezione di apparecchiature sia difettosa e quindi, in caso di esito positivo, avviare un piano di sostituzione.

In conclusione, l’esperienza ha potuto evidenziare come la digitalizzazione e l’uso delle tecniche *AI* rappresentino una svolta per l’Ingegneria Clinica, a patto che vi siano affiancate una corretta gestione e standardizzazione dei dati fin dalla fase di collaudo. Superata questa “incompletezza”, la metodologia usata può essere estesa all’intero parco macchine con lo scopo di promuovere le tecniche di manutenzione predittiva e adattarle il più possibile allo stato dell’Azienda.

Bibliografia e sitologia

- [1] AULSS 7 Pedemontana, Organizzazione,
<https://www.aulss7.veneto.it/organizzazione> (ultima consultazione 10 agosto 2026)
- [2] AULSS 7 Pedemontana, Ingegneria Clinica,
<https://www.aulss7.veneto.it/Ingegneria-Clinica> (ultima consultazione 10 agosto 2026)
- [3] Faggiano F., Ritrovato M., Freda P., Di Vivo L., D'Alessandro L. e Derrico P. (2012), “*Supporting Clinical Engineering in Italy: Results of a Survey Conducted by the AIIC*”, in IEEE Pulse, vol. 3, n. 5, pp. 33-39, doi: 10.1109/MPUL.2012.2208025
- [4] Paithankar P., Pacharaney U., Reddy K., Holmukhe R. e Chavan D. (2025), “*Artificial Intelligence in Healthcare Management for Predictive Maintenance of Machines*”, in Proceedings of the 2025 3rd DMIHER International Conference on Artificial Intelligence in Healthcare, Education and Industry (IDICAIHEI), Wardha, India, pp. 1-3, doi: 10.1109/IDICAIHEI65991.2025.11379100
- [5] Zellal N. e Zaouia A. (2015), “*An exploratory investigation of Factors Influencing Data Quality in Data Warehouse*”, in Proceedings of the 2015 Third World Conference on Complex Systems (WCCS), Marrakech, Morocco, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICoCS.2015.7483222.
- [6] Chien C.-H., Huang Y.-Y. e Chong F.-C. (2010), “*A framework of medical equipment management system for in-house clinical engineering department*”, in Proceedings of the 2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology, Buenos Aires, Argentina, pp. 6054-6057, doi: 10.1109/IEMBS.2010.5627617
- [7] AIIC (Associazione Italiana Ingegneri Clinici), *Gestione informatizzata delle tecnologie biomediche: applicativo full-web BiogestNT*, Convegno Nazionale AIIC 2018, <https://www.convegnonazionaleaiic.it/2018/gestione-informatizzata-delle-tecnologie-biomediche-applicativo-full-web-biogestnt/index.html> (ultima consultazione 11 agosto 2026)
- [8] Acevedo F. J., Fuentes J. E. e Enderle J. D. (2005), “*Design of Computerized Maintenance Management System for the Chilean Naval Hospital Biomedical Engineering Department*”, in Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine

- and Biology 27th Annual Conference, Shanghai, pp. 174-177, doi: 10.1109/IEMBS.2005.1616370
- [9] Manchadi O., Ben-Bouazza F.-E. e Jioudi B. (2023), “*Predictive Maintenance in Healthcare System: A Survey*”, in IEEE Access, vol. 11, pp. 61313-61330, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3287490
- [10] Sihilah M., Tarigan R. e altri autori (2014), “*Failure analysis of medical equipment: A case study of a medical ventilator failure*”, in Engineering Failure Analysis, vol. 36, pp. 238-249, doi: 10.1016/j.engfailanal.2013.10.015
- [11] Basri EI, Abdul Razak IH, Ab-Samat H, Kamaruddin S (2017), “*Preventive maintenance (PM) planning: a review*”. Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 23 No. 2 pp. 114–143, doi: <https://doi.org/10.1108/JQME-04-2016-0014>
- [12] Bioair, *Safemate Total - Brochure Tecnica*, MedicalExpo, <https://pdf.medicaexpo.it/pdf/bioair/safemate-total/128495-253897.html> (ultima consultazione 17 agosto 2026)
- [13] Gruppo Strola, Serie GS - Cabine a flusso laminare, <https://www.gruppostrola.com/project/serie-gs/> (ultima consultazione 17 agosto 2026)
- [14] Thermo Scientific, Herasafe KS and KSP Class II Biological Safety Cabinets - Technical Brochure, MedicalExpo, <https://pdf.medicaexpo.it/pdf/thermo-scientific/thermo-scientific-herasafe-ks-and-ksp-class-ii-biological-safety-cabinets-en/78678-85089.html> (ultima consultazione 17 agosto 2026)
- [15] A-Matrix / Thermo Scientific, *Herasafe KS Class II Biological Safety Cabinet*, <https://a-matrix.ng/product/herasafe-ks-class-ii-biological-safety-cabinet-ks-12/>
- [16] Destro A., Elsevier, 2006, *Guida all'adozione dei defibrillatori semiautomatici esterni*, Elsevier
- [17] Nihon Kohden, *Cardiolife AED-3100*, <https://eu.nihonkohden.com/it/products/resuscitation/Cardiolife-AED-3100>
- [18] ZOLL Medical, *AED Plus*, <https://www.zoll.com/it-it/products/emergency-care/aeds/aed-plus>
- [19] Ferraioli A., 2020, *Manuale di ingegneria biomedicale - Dispositivi medici, normative, apparecchiature elettromedicali e nozioni fondamentali*, Dario Flaccovio Editore
- [20] AV Medica, *Ecografi*, <https://www.avmedica.it/ecografi/>

- [21] Sikelia Medical, *Ecografo portatile GE Logiq e*, <https://sikeliamedical.it/ecografi/logiq-e/>
- [22] Dormed, *Hitachi Arietta V70*, <https://dormed.gr/en/product/hitachi-arietta-v70/>
- [23] Iadanza, E., Gonnelli, V., Satta, F. *et al.* Evidence-based medical equipment management: a convenient implementation. *Med Biol Eng Comput* 57, 2215–2230 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11517-019-02021-x>
- [24] CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano), *Scheda catalogo norma*, <https://mycatalogo.ceinorme.it/cei/item/0000014457>
- [25] E. Gattnar, O. Ekinici and V. Detschew, "Clinical Process Modeling and Performance Measurement in Hospitals," 2011 IEEE 15th International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops, Helsinki, Finland, 2011, pp. 132-140, doi: 10.1109/EDOCW.2011.21
- [26] IBM, Deep Learning, IBM Think, <https://www.ibm.com/it-it/think/topics/deep-learning>
- [27] Google. (2023). *NotebookLM*. Google Labs. <https://labs.google.com/search/experiment/23>
- [28] Zamzam A. H., Hasikin K. e Wahab A. K. A. (2023), "Integrated failure analysis using machine learning predictive system for smart management of medical equipment maintenance", in *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 125, 106715, doi: 10.1016/j.engappai.2023.106715
- [29] Medhat N., Samy S. A., Wahed M. A. e Mohamed A. S. A. (2008), "Medical Equipment Quality Assurance for Healthcare Facilities", in *Proceedings of the 2008 Cairo International Biomedical Engineering Conference*, Cairo, Egypt, pp. 1-4, doi: 10.1109/CIBEC.2008.4786101

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione
Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica

Relazione per la prova finale

**«Digitalizzazione e gestione del ciclo di vita delle tecnologie
biomediche: il caso AULSS 7 Pedemontana»**

Relatore: Prof. Giovanni Sparacino
Correlatore: Ing. Sofia Panagiotakopoulou (AULSS 7)

Laureanda: Giada Rigon
Matricola n.: 2111240

Padova, 25/09/2026

- **Contesto Aziendale:**

AULSS 7 Pedemontana

- **Ruolo Ingegnere Clinico:**

- Valutazione delle tecnologie
- Monitoraggio della sicurezza e dell'efficienza
- Pianificazione acquisto nuove tecnologie

REGIONE DEL VENETO



ULSS7
PEDEMONTANA

- **Strategie di manutenzione:**
 - Tradizionale: Correttiva e Preventiva
 - Proattiva: Predittiva
- **Key Performance Indicators (KPI)** - Indicatori usati per valutare le prestazioni di manutenzione delle apparecchiature
- **Replacement Planning** - Processo di pianificazione per la dimissione/sostituzione basata sull'obsolescenza e lo stato di «vita» delle macchine

OBIETTIVO DEL TIROCINIO



- ***Analisi dei dati*** – valutare le prestazioni di cappe, defibrillatori ed ecotomografi tramite i *KPI*
- ***Integrazione AI*** – passare dalla manutenzione tradizionale a quella predittiva sfruttando *NotebookLM*
- ***Supporto decisionale*** – fornire un modello pratico di *Replacement Planning*

ACQUISIZIONE DEI DATI

- Software gestionale: *Biogest-NT*
- Tre macro-classi: Cappe, Defibrillatori, Ecotomografi

<i>Inventario</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Costruttore</i>	<i>Modello</i>	<i>Valore</i>	<i>Canone manutenzione</i>	<i>Data Collaudo</i>	<i>Tot. Guasti</i>	<i>Età</i>
1-CES-782350	Cappa Aspirante	GRUPPO STROLA	GS 900	€ 3.381,75	€ 140,73	2003	1	23
1-BAS-92202	Defibrillatore Semiautomatizzato	ZOLL MEDICAL	AED PLUS	€ 990,00	€ 41,20	2018	1	8
1-BAS-94946	Ecotomografo Portatile	GE HEALTHCARE	LOGIQ E	€ 28.380,00	€ 1.181,03	2019	10	7

CALCOLO DEI KPI

- Età media e % > 8 anni
- Frequenza guasti/anno
- Costo manutenzione totale

ECOTOM. DEFIBRILL. CAPPE	<i>Dispositivo</i>	<i>N° Tot</i>	<i>Età media</i>	<i>Guasti/anno</i>	<i>Costo manut. tot.</i>	<i>% > 8 anni</i>
	Aspirante	19	15,00	7,25	€ 1.152,49	10,53%
	Biologica	8	16,33	1,67	€ 884,58	25,00%
	A flusso laminare	9	20,00	2,40	€ 1.213,10	33,33%
	Automatici	2	1,00	0,00	€ 0,00	0,00 %
	Semiautomatici	248	6,23	3,00	€ 16.391,78	24,60%
	Carrello/ Fissi	104	9,13	4,44	€ 200.960,68	38,46 %
	Portatili	44	7,19	2,87	€ 25.409,48	29,54 %

Criterio efficienza economica:

Rapporto Manutenzione/valore (%) $\longrightarrow$ valore soglia 5% - 7%

CAPPE:

- **A flusso laminare:** caso più critico con *maggior impatto finanziario* $\longrightarrow$ rapporto manutenzione/valore alto
- **Aspiranti:** valore massimo di guasti all'anno (7,37) $\longrightarrow$ *stress operativo* ed elevati fermi macchina
- **Biologiche:** rischio di *sicurezza operativa* per potenziale usura dei filtri HEPA (25% parco obsoleto)

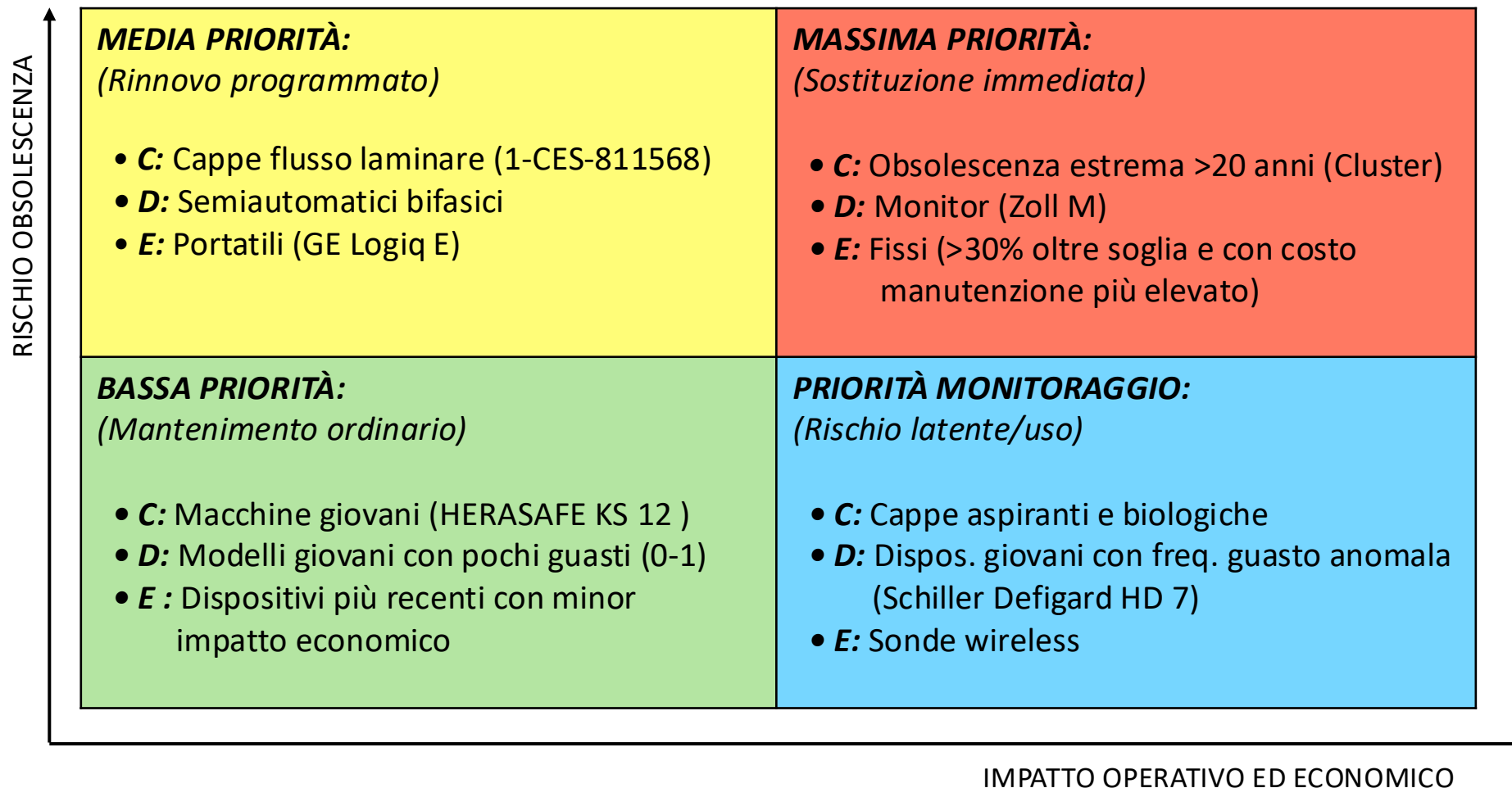
DEFIBRILLATORI:

- **Automatici:** classe totalmente *affidabile*
- **Semiautomatici:**
 - **Nuova generazione:** classe totalmente *affidabile*
 - **Monitor:** classe *critica* con 7,37 guasti/anno, 50% obsolescenza ed elevato costo di manutenzione
————→ rapporto manutenzione/valore inefficiente
 - **Vecchia generazione:** numero guasti molto basso (1,32 guasti/anno) ma età media elevata (10,53 anni)

ECOTOMOGRAFI:

- **Carrello/Fissi:** elevate spese manutentive ———→ rapporto manutenzione/valore costante (4,16%)
- **Portatili:** situazione intermedia, impatto economico considerevole (€25.109)

MATRICE DI PRIORITÀ TRASVERSALE PER IL SUPPORTO ALLE DECISIONI



Legenda macro-classi:

- **C** = Cappe
- **D** = Defibrillatori
- **E** = Ecotomografi

Lo scopo del lavoro consisteva nell'ottimizzazione della manutenzione predittiva e del Replacement Planning attraverso quattro fasi:

Estrazione dei dati → Elaborazione → Analisi → Replacement Planning

- **Risultati** - Efficacia dei modelli AI per velocizzare l'analisi e il supporto alla manutenzione predittiva
- **Punti critici riscontrati:**
 - **Qualità e completezza dei dati:** assenza di alcuni dati storici in Biogest-NT
 - **Profondità delle informazioni:** mancanza di dettagli (es. tempo di fermo macchina)
- **Sviluppi futuri:**
 - **Standardizzazione dei dati:** corretta codifica e inserimento dalla fase di collaudo