

POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Ingegneria Industriale e dell'Informazione  
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Biomedica



**Elaborazione di un tool per la realizzazione di un  
Emergency Center in epoca Covid-19.  
Case study presso Humanitas Research Hospital**

Relatore: Prof.ssa Veronica Cimolin

Correlatori: Ing. Paolo Oliva

Ing. Chiara Mirabella

Tesi di laurea di:

Chiara VIGANI

Matr. 920252

Anno accademico 2019/2020



# Indice

Indice delle figure.....	4
Indice delle tabelle.....	6
Sommario .....	7
Abstract.....	9
Introduzione.....	11
1. Istituto Clinico Humanitas.....	14
1.1 Servizio di Ingegneria Clinica (SIC).....	19
1.1.1 Funzioni di un Servizio di Ingegneria Clinica .....	19
1.1.2. Modelli organizzativi .....	20
1.1.3. SIC di Humanitas.....	20
2. Emergenza sanitaria Covid-19.....	30
2.1. Epidemiologia.....	30
2.2. Modalità di trasmissione .....	32
2.3. Sintomi clinici.....	33
2.4. Patogenesi .....	34
2.5. Trattamento .....	35
2.6. Situazione in Italia .....	40
2.7. Misure di prevenzione.....	41
2.8. Ruolo dell'ingegneria clinica.....	42
3. La risposta di Humanitas .....	45
3.1. Aspetti gestionali .....	45
3.2. Gestione delle strutture .....	46
3.3. Unità di Terapia Intensiva.....	51
3.4. Dipartimento d'emergenza.....	53
3.5. Test di laboratorio .....	57
4. Esigenze cliniche .....	59
5. Elaborazione di un tool.....	65
6. Analytic Hierarchy Process .....	68
6.1. Descrizione della metodologia.....	70
6.2. Metodi approssimati .....	76
6.3. Utilizzo dell'AHP tramite Microsoft Excel .....	78
7. Applicazione dell'AHP .....	81

7.1. AHP applicato alla scelta della collocazione dei pazienti Covid.....	81
7.2. AHP applicato alla scelta della tipologia costruttiva .....	88
7.2.1. Caso Humanitas Gavazzeni, Bergamo .....	98
7.3. AHP applicato alla scelta della localizzazione della struttura .....	101
8. Progettazione degli spazi interni .....	110
8.1. Progettazione medica.....	110
8.1.1. Sala TAC.....	125
8.1.2. Sala Angiografo.....	129
8.2. Progettazione esecutiva.....	130
9. Conclusioni.....	137
Bibliografia.....	141
Sitografia .....	142

## Indice delle figure

Figura 1: Istituto Clinico Humanitas .....	15
Figura 2: Struttura dell'istituto Clinico Humanitas .....	17
Figura 3: Organigramma del SIC di Humanitas .....	21
Figura 4: Processo di acquisizione di un'apparecchiatura in Humanitas .....	23
Figura 5: Gestione delle manutenzioni preventive in Humanitas.....	25
Figura 6: Gestione delle manutenzioni correttive in Humanitas .....	27
Figura 7: Procedura di dismissione di un'apparecchiatura in Humanitas .....	28
Figura 8: Software gestionale InfoHealth.....	29
Figura 9: Casi di Covid-19 all'11 febbraio 2020.....	32
Figura 10: Maschera e Casco CPAP, UptoDate, 2020 .....	38
Figura 11: Montaggio Casco CPAP, Humanitas University .....	39
Figura 12: Tendon comunicanti dedicati ai codici verdi "potenzialmente infetti" .....	55
Figura 13: Flowchart riguardante i pazienti classificati come "codici verdi potenzialmente infetti" .....	56
Figura 14: Tool per la realizzazione di un Emergency Center .....	67
Figura 15: Scomposizione del problema tramite metodologia AHP.....	69
Figura 16: Scala Saaty (Fonte: 'Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) to select and prioritize projects in portfolio' di Ricardo Verga <sup>16</sup> ).....	72
Figura 17: Esempio di matrice dei confronti a coppie.....	73
Figura 18: Creazione della matrice dei confronti a coppie con Excel <sup>18</sup> .....	79
Figura 19: Somma degli elementi di ciascuna colonna della matrice <sup>18</sup> .....	79
Figura 20: Passaggi per eseguire la normalizzazione con Excel <sup>18</sup> .....	80
Figura 21: Analisi di consistenza tramite Excel <sup>18</sup> .....	80
Figura 22: Confronto tra alternative sulla base del criterio "qualità delle cure", collocazione .....	84
Figura 23: Confronto tra alternative sulla base del criterio "sostenibilità economica", collocazione .....	85
Figura 24: Confronto tra alternative sulla base del criterio "tempistiche", collocazione....	86
Figura 25: Confronti a coppie tra criteri circa la collocazione .....	87
Figura 26: Schematizzazione delle decisioni necessarie per la realizzazione di una struttura esterna.....	88
Figura 27: Triangolo di project management .....	90
Figura 28: Confronto tra alternative sulla base del criterio "durabilità", tipologia costruttiva .....	92
Figura 29: Confronto tra alternative sulla base del criterio "tempistiche", tipologia costruttiva .....	93
Figura 30: Confronto tra alternative sulla base del criterio "costo", tipologia costruttiva..	94
Figura 31: Confronto tra alternative sulla base del criterio "smontabilità", tipologia costruttiva .....	95
Figura 32: Confronti a coppie dei criteri circa la tipologia costruttiva .....	97
Figura 33: Confronti tra alternative sulla base del criterio "vicinanza con l'ospedale principale", localizzazione della struttura .....	103

Figura 34: Confronto tra alternative sulla base del criterio “difficoltà di realizzazione”, localizzazione della struttura .....	105
Figura 35: Confronto tra alternative sulla base del criterio “vincoli ambientali”, localizzazione della struttura .....	106
Figura 36: Confronti a coppie tra criteri considerati circa la localizzazione della struttura .....	107
Figura 37: Schematizzazione delle scelte eseguite sulla base della metodologia AHP ....	108
Figura 38: Accesso Covid Center .....	112
Figura 39: Shock room .....	113
Figura 40: Sala del PS dedicata ai codici verdi .....	115
Figura 41: Postazione codici verdi .....	116
Figura 42: Sala del PS dedicata ai codici gialli .....	117
Figura 43: Strutture portanti per montaggio tende affinché sia garantita privacy nella sala dedicata ai codici gialli .....	117
Figura 44: Attacchi presenti in una postazione per codici gialli .....	118
Figura 45: GUI presente nel Pronto Soccorso .....	118
Figura 46: Unità di terapia intensiva .....	119
Figura 47: Postazione letto di terapia intensiva.....	120
Figura 48: Blocco operatorio.....	121
Figura 49: Area dedicata alla degenza.....	122
Figura 50: Posto letto di degenza .....	123
Figura 51: Sala sporca .....	124
Figura 52: Sala TAC.....	125
Figura 53: Canaline apribili dedicate al passaggio dei cavi elettrici nella sala TAC .....	126
Figura 54: Sistema di canaline presente nella sala TAC .....	127
Figura 55: Sala operatoria di emodinamica, ospitante l’Angiografo.....	129
Figura 56: Posto letto di terapia intensiva, corredato di tutte le apparecchiature necessarie .....	132
Figura 57: Logica di Humanitas nei processi d’acquisto .....	135
Figura 58: Step necessari al completamento interno del Covid Center.....	136
Figura 59: Fasi necessaria per la realizzazione di un Emergency Center .....	139

## Indice delle tabelle

Tabella 1: Principali funzioni svolte da un Servizio di Ingegneria Clinica.....	19
Tabella 2: Principali attività svolte dal SIC di Humanitas .....	21
Tabella 3: Valori relativi al Random Consistency Index .....	76
Tabella 4: Condizioni ambientali necessarie nella sala TAC .....	128
Tabella 5: Condizioni ambientali necessarie nella sala Angiografo.....	129

## Sommario

Il 9 gennaio 2020, l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) dichiarava che le autorità cinesi avevano individuato un nuovo ceppo di coronavirus mai identificato nell'uomo, provvisoriamente chiamato 2019-nCoV e classificato in seguito ufficialmente con il nome di Sars-Cov-2. Il virus è stato associato ad un focolaio di casi di polmonite verificatesi a partire dal 31 dicembre 2019 nella città di Wuhan, nella Cina centrale.

Pochi mesi dopo, l'11 marzo 2020, il direttore generale dell'OMS Tedros Adhanom Ghebreyesus riconosceva che quella di Nuovo Coronavirus si sarebbe trasformata in una pandemia. Questa situazione si è rivelata fortemente critica per diversi Paesi e anche l'Italia non ha fatto eccezione. Numerose strutture ospedaliere, infatti, sono state colte impreparate dalla forte ondata di casi di pazienti positivi che ha caratterizzato il mese di marzo 2020. Tra esse, anche l'Istituto Clinico Humanitas ha subito una forte pressione nella gestione dell'emergenza, non essendo dotato di un dipartimento di malattie infettive. Ciò ha comportato difficoltà nella presa in carico e nella cura dei pazienti positivi nonché gravi perdite economiche per l'ospedale. La prima risposta da parte di Humanitas si è tradotta infatti nell'eseguire diversi tentativi di gestione dei pazienti (in continua crescita), riorganizzando di volta in volta gli spazi e le attrezzature medicali necessarie.

Questo lavoro, svolto in collaborazione con l'Istituto Clinico Humanitas di Rozzano, si pone come obiettivo quello di seguire le strategie messe in atto dall'ospedale al fine di non farsi trovare impreparato ad una possibile seconda ondata di Covid. È proprio sulla base di questa idea che nasce Humanitas Emergency Hospital 19, chiamato anche Covid Center, ubicato nei pressi dell'ospedale di Rozzano.

L'ospedale, realizzato in sole undici settimane, è la dimostrazione concreta di come un team composto da diverse figure professionali, tra le quali gli ingegneri clinici risultano avere un ruolo fondamentale, è in grado di cooperare e gestire al meglio anche situazioni di emergenza apportando risvolti positivi per l'intera comunità.

L'intento che questo lavoro si prefigge è quindi quello di non fermarsi solamente all'idea di un progetto, ma, anzi, mostrare come sia possibile portare a termine tutte le azioni necessarie per rendere il progetto stesso una concretezza, trasformando l'idea potenziale in atto.



Le priorità sin da subito riscontrate sono risultate in particolare l'ottimizzazione dei tempi e delle risorse a disposizione, nella continua ricerca di miglioramenti per la cura dei pazienti. A partire dai pochi dati a disposizione, si passa ad una loro rielaborazione fino ad arrivare alla definizione di veri e propri step necessari al completamento della struttura.

Devono essere analizzate *in primis* le esigenze cliniche, definite sulla base dell'esperienza acquisita durante le prime settimane di gestione dell'emergenza. Esse si traducono nella scelta di realizzare uno o più reparti da dedicare ai pazienti Covid e nel conseguente dimensionamento dell'area necessaria.

Si continua poi con l'analisi delle caratteristiche essenziali riguardanti la parte esterna della struttura (mura, collocazione, etc.). Questo è possibile tramite l'utilizzo dell'Analytic Hierarchy Process (AHP), una procedura decisionale che permette di fare scelte complesse basate su più criteri, valutando le diverse alternative e creando un ordinamento finale delle stesse. Questo approccio permette quindi di prendere decisioni in intervalli di tempo brevi, al fine di fronteggiare la situazione di emergenza.

Infine, si considera la parte di progettazione interna della struttura, a sua volta suddivisa in progettazione medica ed esecutiva. È proprio in queste ultime fasi che emerge il ruolo significativo dell'ingegnere clinico. Per progettazione medica si intende la previsione di ogni possibile necessità al fine di organizzare tutti gli spazi interni ed esterni della struttura, con particolare precisione nell'indicare la localizzazione destinata a ciascun elemento. La progettazione esecutiva riguarda invece la stesura dei capitolati tecnici e la successiva parte di acquisto del materiale necessario per il corretto funzionamento del sistema, seguito dalla fase di installazione delle apparecchiature acquistate.

Questo è il percorso seguito nel presente lavoro; auspicando di essere un esempio per la gestione di eventuali emergenze future e confidando che ogni dato e ogni progetto possa essere facilmente riadattato e modellato per fronteggiare situazioni differenti, mira ad essere solamente un punto di partenza -e non di arrivo- per trovarsi meno impreparati ma, al contrario, più pronti e aperti a nuove (e migliori) soluzioni per contrastare e resistere alle possibili emergenze future.

## Abstract

On January 9, 2020, the World Health Organization (WHO) declared that the Chinese authorities had identified a new strain of coronavirus never identified in humans, temporarily named 2019-nCoV and later officially classified as Sars-Cov- 2. The virus has been associated with an outbreak of pneumonia cases that occurred from December 31, 2019 in the central China city of Wuhan.

A few months later, on 11 March 2020, WHO general director Tedros Adhanom Ghebreyesus recognized that the New Coronavirus would turn into a pandemic. This situation proved to be highly critical for several countries and Italy was no exception. In fact, numerous hospitals were caught unprepared by the strong wave of positive patient cases that characterized the month of March 2020. Among them, the Humanitas Research Hospital has also suffered great pressure in emergency management, not being equipped with an infectious disease department. This led to difficulties in taking charge and treating positive patients as well as serious economic losses for the hospital. The first response from Humanitas, in fact, resulted in carrying out various attempts to manage patients (in continuous growth), reorganizing the spaces and the necessary medical equipment from time to time.

This work, carried out in collaboration with the Humanitas Research Hospital of Rozzano, aims to follow the strategies implemented by the hospital in order not to be caught unprepared for a possible second wave of Covid. It is precisely on the basis of this idea that Humanitas Emergency Hospital 19 was born, also called Covid Center, located near the hospital in Rozzano.

The hospital, built in just eleven weeks, is the concrete demonstration of how a team made up of various professional figures, where clinical engineers have a fundamental role, are able to cooperate and manage even emergency situations in the best possible way, bringing positive implications for the entire community.

The intention of this work is therefore not to stop only at the idea of a project, but, on the contrary, to show how it is possible to complete all the actions necessary to make the project itself a reality, transforming the potential idea in facts.

The priorities immediately identified were the optimization of the time and resources available, in the continuous search for improvements in patient care. Starting from the few data available, we move on to their re-elaboration up to the definition of real steps necessary to complete the structure.

Clinical needs must be analyzed first, defined based on the experience gained during the first weeks of emergency management. They translate into the choice of creating one or more departments to be dedicated to Covid patients and the consequent sizing of the necessary area.

We then continue with the analysis of the essential characteristics concerning the external part of the structure (walls, location, etc.). This is possible through the use of the Analytic Hierarchy Process (AHP), a decision-making procedure that allows you to make complex choices based on multiple criteria, evaluating the different alternatives and creating a final order of the same. This approach therefore makes it possible to make decisions in short time intervals, in order to face the emergency situation.

Finally, the internal design part of the structure is considered, in turn divided into medical and executive design. It is precisely in these latter stages that the significant role of the clinical engineer emerges. By medical design we mean the provision of every possible need to organize all the internal and external spaces of the structure, with particular precision in indicating the location intended for each element. The executive design, on the other hand, concerns the drafting of the technical specifications and the subsequent part of the purchase of the material necessary for the correct functioning of the system, followed by the installation phase of the purchased equipment.

This is the path followed in this work; hoping to be an example for the management of any future emergencies and trusting that each data and each project can be easily adapted and modeled to face different situations, it aims to be only a starting point - and not an arrival – to be found less unprepared but on the contrary, more ready and open to new (and better) solutions to counter and resist possible future emergencies.

## Introduzione

Covid-19 rappresenta la forma abbreviata di Coronavirus Disease 2019, denominazione attribuita dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) alla malattia respiratoria provocata dall'agente patogeno Sars-Cov-2. Esso è un virus respiratorio che appartiene alla grande famiglia dei coronavirus (CoV); il nome Coronavirus deriva dalla presenza di punte a forma di corona sulla superficie del virus. Il virus è associato ad un focolaio di casi di polmonite registrati nel mese di dicembre 2019 nella città di Wuhan (provincia dell'Hubei, Cina centrale), e successivamente diffusosi in altri Paesi del mondo. Corrispondendo ai tre criteri di elevata contagiosità, tasso di mortalità significativo e diffusione su scala mondiale in assenza di immunizzazione specifica nell'uomo, nel marzo 2020 è stata dichiarata la pandemia da Covid-19.

I diversi Paesi si sono mossi in maniera differente al fine di fronteggiare l'ondata di casi positivi in continua crescita e anche all'interno degli stessi si assiste a scenari differenti; tutto questo è dovuto al fatto che le azioni da compiere non erano chiare, non sapendo come sarebbe evoluto il virus, fino a quel momento sconosciuto. La prima cosa che è risultata chiara era la necessità di mantenere separati i pazienti positivi ed i relativi flussi da chi era risultato negativo al test in modo tale da tentare di contrastare la diffusione del virus.

Si tratta di una vera e propria corsa contro il tempo, a cui partecipano diversi ospedali italiani al fine di far fronte alla mancanza di posti letto di terapia intensiva; vengono per questo allestiti in tutto lo stato ospedali da campo.

Nonostante le reazioni a ciò siano varie e non esista quindi un unico modello per questa tipologia di ospedali, il Global Forum for Health Care Innovators del Advisory Board Group ne mette in evidenza tre categorie principali <sup>a</sup> : la prima tipologia ha come obiettivo quello di creare spazi utili per mettere in quarantena i casi di Covid-19 da lievi a moderati, utilizzando sistemi di monitoraggio al fine di rilevare eventuali peggioramenti delle condizioni di salute ed effettuare, in questo caso, un trasferimento dei pazienti negli ospedali situati nelle vicinanze.

La seconda tipologia di ospedali da campo è destinata alla creazione di nuovi posti letto di terapia intensiva per la cura dei pazienti gravemente malati.

Si passa infine alla terza ed ultima tipologia destinata ai pazienti in fase di ripresa, che non necessitano più di un ambiente di cura critico ma non sono ancora nelle condizioni per il rientro presso la propria abitazione.

Obiettivo che accomuna tutti questi progetti è la capacità di rapido intervento, dal momento che i numeri di casi positivi continuano ad aumentare giorno dopo giorno e gli ospedali si trovano in una condizione di crisi e sovratensione.

A livello globale, si assiste ad esempi notevoli di come gli ospedali da campo siano stati costruiti ad un ritmo rapido; si pensi ad esempio all'ospedale Huoshenshan situato nella città cinese di Wuhan, che con un'estensione di 25000 metri quadrati è stato realizzato in soli 14 giorni. La realizzazione di un edificio di queste dimensioni avrebbe richiesto normalmente sei mesi per essere progettato e anche più di tre anni per essere costruito, come sottolinea Jiqiang Hu, direttore del Centro di ricerca per la progettazione digitale di CITIC ADI <sup>b</sup>.

Anche l'Istituto Clinico Humanitas ha deciso di accettare la sfida proponendo un progetto di realizzazione di un'area dedicata esclusivamente ai pazienti Covid. Obiettivo finale di questo progetto è quello di mantenere separati i pazienti Covid dall'ospedale, in modo tale da liberare le zone che erano state temporaneamente predisposte per la gestione dei pazienti infetti e riprendere quindi le attività ordinarie.

Tutto ciò è stato svolto nell'ambito di un tirocinio semestrale presso Humanitas dove è stato seguito ed analizzato in prima persona il ruolo degli ingegneri clinici nella gestione di un'emergenza come quella da Covid-19.

Il presente lavoro prende quindi inizialmente in considerazione il contesto in cui viene realizzata l'analisi, presentando nel primo capitolo l'Istituto Clinico Humanitas ed analizzando la struttura del SIC, delineando poi le caratteristiche del virus Sars-Cov-2 ed i suoi effetti sull'uomo (capitolo 2). Successivamente, nel capitolo 3 vengono analizzate nel dettaglio le azioni realizzate da Humanitas al fine di gestire la prima fase dell'emergenza, con focus sulle zone adibite ad ospitare i pazienti positivi e sulla gestione dei test di laboratorio.

Si passa poi alla comprensione dell'effettiva necessità di realizzare una zona apposita da dedicare ai pazienti Covid (capitolo 4).

Risulta chiaro che al mese di marzo 2020 non erano ben definite le attività da eseguire per gestire l'emergenza e non si sapeva quindi quale fosse la soluzione migliore. Per questo motivo è nata l'idea di elaborare un tool, cioè di delineare tutte le fasi necessarie che, se realizzate consecutivamente una dopo l'altra, portano alla realizzazione di un Emergency Center (capitolo 5).

Esse consistono in una preliminare analisi delle esigenze e necessità cliniche, presentate nel capitolo 4, seguito dall'analisi delle caratteristiche strutturali che deve possedere l'area (capitolo 6 e 7) ed infine un approfondimento circa le caratteristiche relative agli ambienti interni (capitolo 8).

## 1. Istituto Clinico Humanitas

L'Istituto Clinico Humanitas (in lingua inglese *Humanitas Research Hospital*) è un ospedale policlinico ad alta specializzazione, un centro di ricerca clinica e scientifica e sede di insegnamento di Humanitas University, Ateneo internazionale dedicato alle Scienze mediche.

L'ospedale, sito nel comune di Rozzano, nell'area metropolitana di Milano, è riconosciuto dal Ministero della Salute come Istituto di Ricovero e Cura a Carattere Scientifico (IRCCS).

L'istituto clinico Humanitas è il principale ospedale del gruppo Humanitas, composto dalle seguenti strutture ospedaliere:

- Humanitas Castelli (Bergamo);
- Humanitas Gavazzeni (Bergamo);
- Humanitas Mater Domini (Castellanza);
- Humanitas centro catanese di oncologia (Catania);
- Humanitas san Pio X (Milano);
- Istituto clinico Humanitas (Rozzano);
- Humanitas Cellini (Torino);
- Humanitas Gradenigo (Torino).

All'interno del policlinico si fondono centri specializzati per la cura dei tumori, delle malattie cardiovascolari, neurologiche, ortopediche, autoimmuni e infiammatorie, oltre ad un Centro Oculistico e ad un Fertility Center. Humanitas è inoltre dotato di un Pronto Soccorso EAS ad elevata specializzazione.



*Figura 1: Istituto Clinico Humanitas*

### *Storia*

Nel 1996 viene ultimata la costruzione dell'ospedale: il 4 marzo 1996 Humanitas apre le porte e accoglie il primo paziente.

Nel 1997 entra in vigore la convenzione con il Servizio Sanitario Nazionale per i servizi di ricovero.

Nel 2000 Humanitas diviene sede di insegnamento dell'Università degli Studi di Milano per il corso di laurea in Infermieristica, seguito poi da Medicina e Biotecnologie.

Nel 2002 Humanitas diventa case-study per il Master in Business Administration dell'Università di Harvard ed è il primo policlinico italiano a ottenere l'accreditamento di eccellenza da Joint Commission International, uno dei più importanti enti mondiali di certificazione della qualità ospedaliera.

Nel 2003 viene inaugurato il Pronto Soccorso EAS e la Radioterapia.

Nel 2005 Humanitas è riconosciuto dal Ministero della Salute come Istituto di Ricovero e Cura a Carattere Scientifico. Nasce la Fondazione Humanitas per la Ricerca.

Nel 2010 nasce l'International Medical School in collaborazione con l'Università degli Studi di Milano.

Nel 2013 vengono ampliate le attività di diagnostica con nuove facilities.



Nel 2014 nasce Humanitas University, Ateneo dedicato alle Scienze Mediche e nel 2015 iniziano i lavori per la costruzione del nuovo campus universitario.

Nel 2017 apre il nuovo campus di Humanitas University.

### *Ospedale*

La crescita delle attività dell'ospedale, così come illustrata nel paragrafo precedente, è andata di pari passo con la realizzazione di nuovi edifici (building).

Nella palazzina principale, building 2, si trovano i reparti ad elevata intensità clinica, tra cui due blocchi operatori dedicati alla chirurgia maggiore, due blocchi operatori di day hospital, un blocco operatorio di cardiocirurgia, uno dedicato alla cardiologia interventistica mininvasiva, le terapie intensive generale e cardiocirurgica, l'unità coronarica. Nella medesima palazzina si trovano i servizi di diagnostica per immagini (radiologia, medicina nucleare, ecografia), i reparti di day hospital oncologico, le degenze multidisciplinari, ambulatori polispecialistici, l'endoscopia, il pronto soccorso e la radioterapia.

Tutte le attività ambulatoriali legate al SSN, al centro oculistico, al Fertility center ed al Centro Donna (mammografia, senologia ed ecografia dedicata), così come il centro prelievi, sono ospitati in due palazzine esterne (building 4 e 5).

Il centro di Cascina Perseghetto (CCP, building 8), di più recente costruzione, ospita il centro congressi e l'attività dell'Ortho Center, ossia un blocco operatorio di day hospital dedicato all'ortopedia e quattro degenze di riabilitazione ad esso collegate.

Nel nuovo Campus Universitario, infine, sono ospitate le attività didattiche nonché i laboratori di ricerca e da due anni è stato inaugurato un Simulation Center con l'obiettivo di promuovere la ricerca scientifica e lo sviluppo tecnologico (Figura 2).

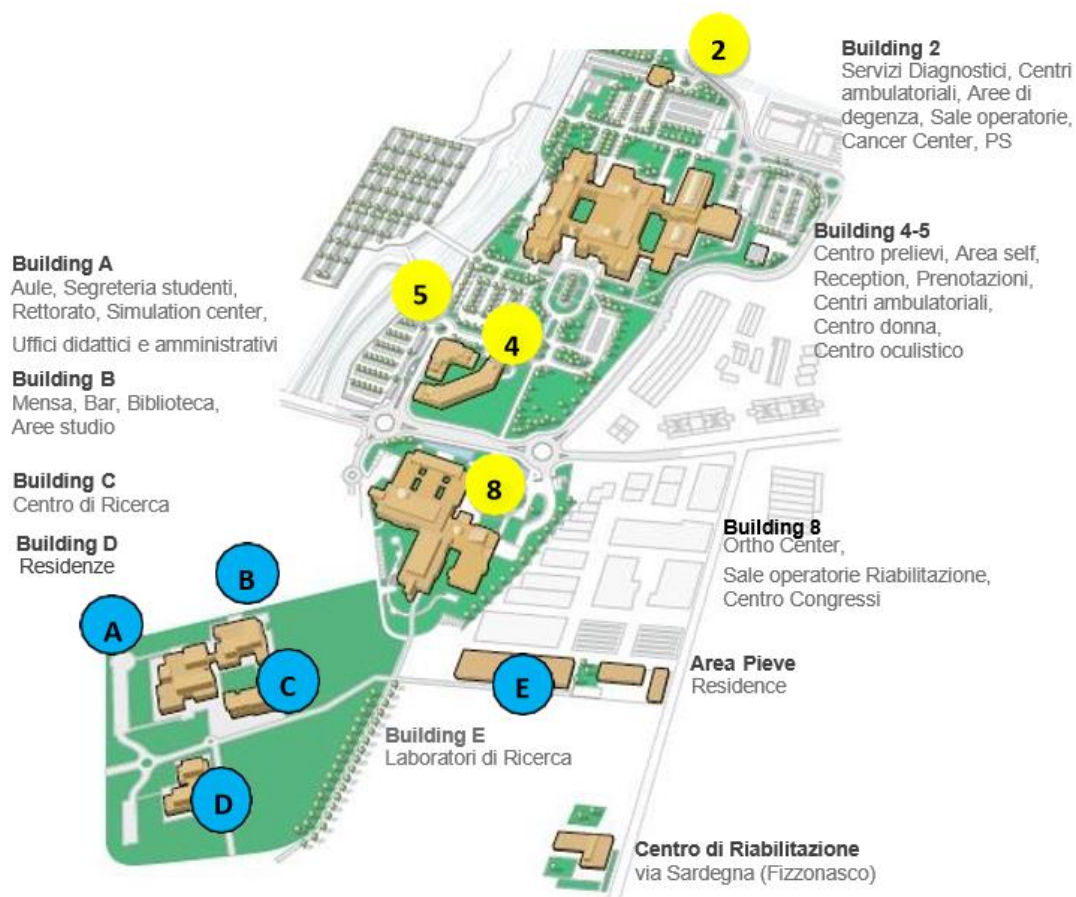


Figura 2: Struttura dell'istituto Clinico Humanitas

L'ospedale di Rozzano dispone di 18 reparti di degenza per un totale di 747 posti letto, per una superficie di circa 65.000 m<sup>2</sup>. I posti letto sono così suddivisi: 647 ordinari, 72 day hospital e 28 di terapia intensiva. L'istituto è organizzato nei seguenti dipartimenti e unità operative:

- Dipartimento di anestesia e terapie intensive (3 unità operative);
- Dipartimento di area laboratori (2 unità operative);
- Dipartimento di area ortopedie (9 unità operative);
- Dipartimento di ginecologia e medicina della riproduzione (2 unità operative);
- Dipartimento di diagnostica per immagini (5 unità operative);

- Dipartimento di neurologia (5 unità operative);
- Dipartimento di gastroenterologia (4 unità operative);
- Dipartimento di riabilitazione e recupero funzionale (3 unità operative);
- Dipartimento di medicina interna (7 unità operative);
- Dipartimento di chirurgie specialistiche (4 unità operative);
- Dipartimento di area cancer (5 unità operative);
- Dipartimento di chirurgia generale (7 unità operative);
- Dipartimento cardiovascolare (10 unità operative).

Humanitas, considerato uno degli ospedali tecnologicamente più avanzati in Europa, dispone di tecnologie innovative e all'avanguardia come il sistema per immagini di nuova generazione EOS, acceleratori lineari TrueBeam e TrueBeam STX, sistemi chirurgici robotici come il robot Da Vinci e il Senhance Surgical Robotic System e sistemi estremamente sofisticati ed esclusivamente dedicati alla radiochirurgia del cervello come Gamma Knife ed Edge. In questo contesto assume particolare rilevanza l'ingegneria clinica, dedicata alla gestione sicura ed efficace del parco macchine in modo tale da aumentare la qualità della cura del paziente ed assicurare ad egli le cure e l'assistenza migliori.

## 1.1. Servizio di Ingegneria Clinica (SIC)

### 1.1.1. Funzioni di un Servizio di Ingegneria Clinica

Le principali funzioni svolte da un Servizio di Ingegneria Clinica, comprendenti le attività inerenti ai processi di introduzione ed acquisizione delle apparecchiature e di gestione delle tecnologie biomediche, secondo l'Associazione Italiana Ingegneri Clinici, sono<sup>1</sup>:

Tabella 1: Principali funzioni svolte da un Servizio di Ingegneria Clinica

Programmazione dell'acquisizione delle tecnologie	<ul style="list-style-type: none"><li>• valutazione dell'obsolescenza delle tecnologie installate al fine di consentire le priorità di rinnovo/sostituzione alla direzione generale;</li><li>• predisposizione del piano annuale e pluriennale degli investimenti in tecnologie sulla base delle obsolescenze e delle necessità delle UU.OO. cliniche;</li><li>• programmazione di piani di fornitura dei dispositivi medici collegati alle tecnologie biomediche;</li></ul>
Valutazione multidisciplinare delle tecnologie – HTA	<ul style="list-style-type: none"><li>• valutazione di tecnologie sanitarie e sistemi sanitari con le metodologie dell'HTA;</li><li>• integrazione delle tecnologie nell'ambiente ospedaliero, individuando le necessità e le caratteristiche che consentono l'interfacciamento delle tecnologie nei vari ambiti (strutture, ambiente, sistema informativo);</li><li>• progetti tecnologici in ambiente ospedaliero e territoriale;</li><li>• ricerca tecnico-scientifica ed economico gestionale;</li><li>• sviluppo di software, procedure e dispositivi medici;</li><li>• collaborazione con i servizi informatici per le modalità di interfacciamento delle tecnologie biomediche e del software medicale con i sistemi informativi aziendali;</li></ul>
Attuazione del piano di investimenti tecnologici	<ul style="list-style-type: none"><li>• predisposizione delle caratteristiche tecniche di fornitura, dei criteri di valutazione dei requisiti di installazione da inserire nei documenti di fornitura;</li><li>• valutazione degli acquisti di tecnologie;</li><li>• formazione sull'utilizzo delle tecnologie, sia per le nuove tecnologie che per le tecnologie installate, con particolare enfasi all'uso sicuro delle stesse;</li><li>• collaudi di accettazione nell'ambiente ospedaliero, in garanzia del rispetto dei requisiti di fornitura e della sicurezza dei pazienti e degli operatori;</li></ul>
Garantire la sicurezza del paziente e degli operatori in relazione all'uso della tecnologia e il mantenimento dello stato di efficienza delle tecnologie	<ul style="list-style-type: none"><li>• gestione della sicurezza delle tecnologie e costante aggiornamento della analisi del rischio tecnologico;</li><li>• controlli di sicurezza e funzionalità sulle tecnologie e sui dispositivi ad esse collegati;</li></ul>
Garantire la continuità dell'erogazione delle prestazioni sanitarie in relazione all'uso delle tecnologie	<ul style="list-style-type: none"><li>• gestione della manutenzione e delle attività conseguenti, sia che esse siano affidate a fornitori che a tecnici interni;</li><li>• garantire la continuità dell'esercizio delle tecnologie anche con strumenti innovativi quali il controllo remoto dei dispositivi medici;</li><li>• gestione dei contratti di fornitura di servizi di manutenzione;</li><li>• gestione delle tecnologie e progettazione funzionale;</li><li>• gestione delle dismissioni;</li><li>• sorveglianza e comunicazione "di legge" agli enti preposti;</li></ul>

### 1.1.2. Modelli organizzativi

In base alla modalità con cui vengono gestite le funzioni tecnica, di supporto e gestionale, si possono definire tre diverse tipologie organizzative di un Servizio di Ingegneria Clinica:

- *SIC interno*: tutte le funzioni sopra elencate vengono svolte da personale dipendente dalla struttura ospedaliera (ingegneri clinici e tecnici biomedici). I principali vantaggi di questo modello sono il controllo diretto delle attività e la tempestività di intervento; dal punto di vista della manutenzione è garantita inoltre la conoscenza della "storia" delle apparecchiature, sia per quanto riguarda i guasti che per la qualità del funzionamento. La gestione della tecnologia secondo questa ottica si basa sul presupposto che il personale sia altamente qualificato.
- *SIC esterno*: gestito appaltando le attività ad una società di servizi esterna che operi in modo coordinato e continuativo con l'ente. Ad esso sono attribuite tutte le tre categorie di funzioni. In questo modo non è possibile avere controllo diretto sull'operato, ma i costi risultano più contenuti.
- *SIC misto*: alcune attività vengono gestite internamente, tipicamente quelle gestionali e di supporto, mentre altre (funzione tecnica) sono affidate ad una società di servizi esterna che si integra nella struttura.

### 1.1.3. SIC di Humanitas

Il Servizio di Ingegneria Clinica in Humanitas è un servizio di tipo interno ed ha come obiettivo la gestione dell'insieme di apparecchiature elettromedicali presenti all'interno della struttura ospedaliera in termini di acquisto, noleggio, comodato, proprietà personale o visione.

L'ingegnere clinico svolge inoltre il ruolo di interlocutore per gli operatori e per le unità operative, con lo scopo di garantire la sicurezza e la rispondenza ai requisiti normativi, strutturali, tecnologici ed organizzativi, nella prospettiva di essere conforme alle direttive aziendali in termini di qualità ed efficienza.

Le principali attività svolte dal servizio di ingegneria clinica sono rappresentate in Tabella 2:

Tabella 2: Principali attività svolte dal SIC di Humanitas

ACQUISIZIONE	IMMISSIONE	MANUTENZIONE	DISMISSIONE
Gestione apparecchiature in visione	Collaudi d'accettazione	Gestione richieste d'intervento	Verifiche di fuori uso
Investimenti per sostituzione	Aggiornamento inventario	Verifiche sicurezza elettrica	Procedure di dismissione
Valutazioni tecnico-economiche HTA	Aggiornamento personale sanitario	Controlli funzionali/qualità	
	Aggiornamento personale tecnico	Manutenzione preventiva	
	Parte amministrativa	Notifiche/avvisi sicurezza	
		Gestione contratti manutenzione	

A livello organizzativo il Servizio si inserisce all'interno della struttura di Supply Chain (Logistica, Ufficio Acquisti e Servizio di Ingegneria Clinica).

In particolare, il Servizio di Ingegneria Clinica è composto da un Responsabile del Servizio, da tre ingegneri per la parte gestionale e da quattro tecnici coordinati da un ingegnere cui compete l'attività di manutenzione, collaudo ed accettazione delle nuove apparecchiature. È presente, inoltre, un'impiegata con compiti amministrativi (Figura 3).

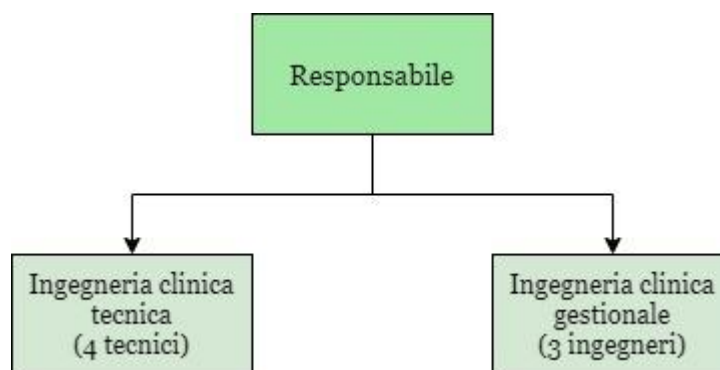


Figura 3: Organigramma del SIC di Humanitas

La funzione *Ingegneria Clinica* svolge le seguenti attività:

- Gestione dei contratti di manutenzione (Full Risk e/o su chiamata) stipulati con i fornitori in base alle direttive e con la supervisione del Responsabile di servizio per garantire:
  - l'efficienza del parco attrezzature medicali;
  - definizione dei tempi e delle modalità alternative d'intervento, in base all'urgenza, alla complessità degli interventi ed all'esistenza di contratti di manutenzione in essere;
  - monitoraggio e controllo degli interventi prestati da personale delle aziende fornitrici;
- Esecuzione d'interventi di manutenzione diretta, tramite personale interno e/o contrattato, senza recare pregiudizio alle garanzie contrattuali dei fornitori;
- Garanzia della tenuta a norma del parco apparecchiature medicali;
- Tenuta sotto controllo dell'inventario, delle schede e della documentazione tecnica di tutte le apparecchiature, con l'indicazione degli interventi effettuati e/o prescritti dalle norme di legge;
- Supporto agli operatori per l'acquisizione di nuove apparecchiature.

### *Acquisizione e Sostituzione*

Per quanto riguarda la gestione del ciclo di vita delle apparecchiature elettromedicali, il supporto tecnico all'acquisizione tecnologie medicali svolge un ruolo strategico. Esso si occupa infatti di supportare la funzione di Supply Chain e la parte clinica svolgendo attività di individuazione delle tecnologie che meglio rispondono alle esigenze dell'ospedale effettuando indagini di mercato, valutazione dell'assistenza tecnica post-garanzia e comparazione dei prodotti e verifiche di aderenza alle disposizioni legislative. In Fig.4 è rappresentato il processo di acquisizione.

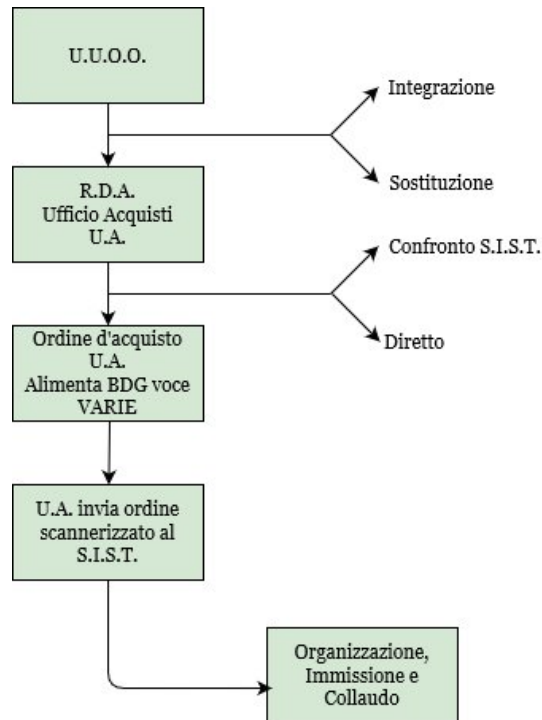


Figura 4: Processo di acquisizione di un'apparecchiatura in Humanitas

Un altro punto importante nella gestione del parco macchine è il piano di sostituzione per l'obsolescenza delle apparecchiature. Fattori che implicano necessariamente la proposta di sostituzione per obsolescenza da parte del SIC sono:

- Gestione eccessivamente onerosa delle apparecchiature (dovuta a guasti ricorrenti o ad un'eccessiva spesa rivolta all'adeguamento alle nuove disposizioni di legge);
- Evoluzione tecnologica che inevitabilmente rende obsolete le apparecchiature già in dotazione;
- Irreparabilità stessa delle apparecchiature;

A seconda delle condizioni e dello stato delle varie apparecchiature si presenta la necessità di elaborare un piano di sostituzione delle stesse. Esso viene redatto considerando problemi dovuti al costo di gestione, a prestazioni scadenti o al rischio derivante dall'utilizzo del bene. Il piano di sostituzione elaborato dal SIC è ottenuto grazie all'interazione di più indicatori; si tratta di un insieme di indicatori (età, costo di gestione, esistenza parti di ricambio, etc.)



che forniscono la capacità di assegnare ad ogni bene un indice di priorità di sostituzione (IPS).

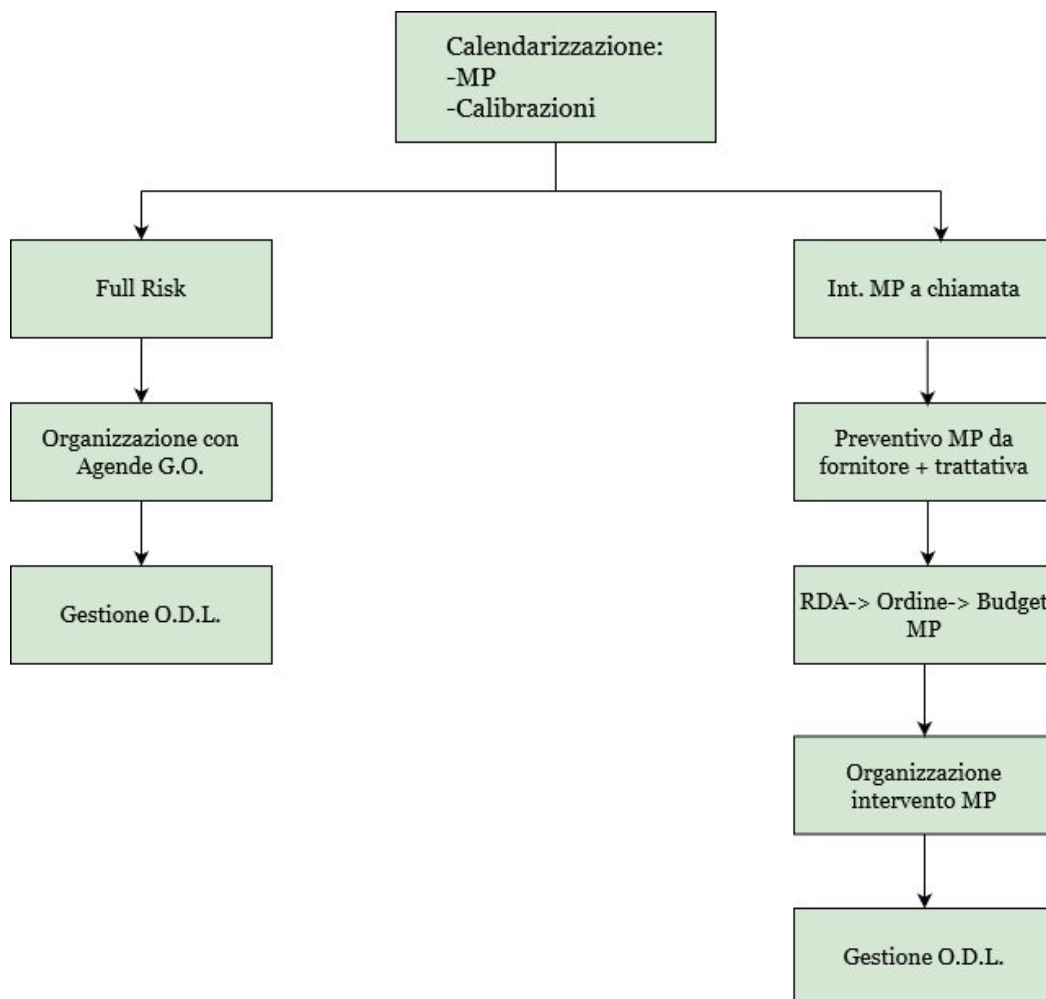
### *Installazioni e Collaudi*

La procedura di accettazione e collaudo rappresenta il mio step da compiere al fine di garantire l'utilizzo in sicurezza delle apparecchiature medicali. Qualsiasi apparecchiatura in ingresso, che sia essa elettromedicale o da laboratorio, è sottoposta infatti a tale procedura. Essa implica l'esecuzione delle seguenti attività:

- Verifiche di installazione: verifica dell'adeguatezza ambientale, di impianti e predisposizioni;
- Conformità all'ordine: verifica delle congruità tra quanto è ordinato e ciò che è stato consegnato;
- Raccolta e verifica della documentazione riguardo certificazioni, dichiarazioni di conformità e manualistica delle apparecchiature, richiesta durante la fase di acquisizione;
- Prove di rispondenza alle norme, a vista e strumentali;
- Prove funzionali;
- Inventariazione e registrazione nel software gestionale dei dati di targa, amministrativi e tecnici e di archiviazione della documentazione;
- Consegna dell'apparecchiatura all'unità operativa o al servizio richiedente provvista del manuale d'uso.

### *Manutenzione preventiva*

Il piano di manutenzione preventiva viene elaborato basandosi sulle informazioni riportate nel manuale d'uso; in esso vengono infatti raccolte le direttive riguardo la tipologia di attività prevista, l'intervallo temporale minimo che intercorre tra un intervento ed il successivo ed il personale autorizzato allo svolgimento delle attività in questione. Il SIC definisce inoltre se l'attività di manutenzione può essere svolta da tecnici interni o meno in base al rischio associato allo specifico intervento. In Fig.5 è riportato il flusso per l'organizzazione della manutenzione preventiva.



*Figura 5: Gestione delle manutenzioni preventive in Humanitas*

Dopo aver definito il piano di manutenzione preventiva, si passa alla definizione dello scadenziario riguardante la programmazione e l'organizzazione delle attività da svolgere durante l'anno. Viene inoltre stabilito il budget a disposizione per le attività di manutenzione preventiva.

### *Verifiche di Sicurezza elettrica e Verifiche Prestazionali*

Le verifiche di sicurezza elettrica garantiscono il corretto e sicuro funzionamento delle apparecchiature elettromedicali al fine di tutelare la sicurezza da rischi elettrici per tutti coloro (pazienti, operatori sanitari, tecnici) che entrano in contatto, accidentalmente o a fini terapeutici, con l'apparecchiatura stessa.

La periodicità di tali verifiche, definita dal Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI), è:

- Annuale per le apparecchiature situate nei locali per chirurgia o assimilati;
- Biennale per le altre tipologie di apparecchiature.

Esistono inoltre apparecchiature per le quali, oltre alle verifiche di sicurezza elettrica, sono necessarie anche verifiche prestazionali. Esse sono, ad esempio, defibrillatori, elettrocardiografi, pompe di infusione, ventilatori polmonari e apparecchi per anestesia.

Dopo aver eseguito tutti i controlli necessari, essi vengono registrati e caricati sul software informatico; esiste infatti uno scadenziario attraverso il quale è possibile seguire lo stato dei lavori, aggiornato con cadenza mensile.

Nel caso in cui vengano riscontrate non conformità, l'apparecchiatura viene sottoposta ai necessari adeguamenti per ripristinarne le condizioni di sicurezza. Quando questo risulta impossibile, l'apparecchiatura viene ritirata e messa fuori uso.

### *Manutenzione correttiva*

In caso di malfunzionamento dell'apparecchiatura, viene eseguita la manutenzione correttiva. Il primo intervento viene effettuato da tecnici interni facenti parte del SIC. Nel caso in cui il primo intervento non porti alla risoluzione del problema, viene richiesto un intervento esterno da parte dell'azienda fornitrice o manuttrice, in base alle condizioni stabilite dal contratto. La manutenzione correttiva prevede gli step raffigurati in Fig.6

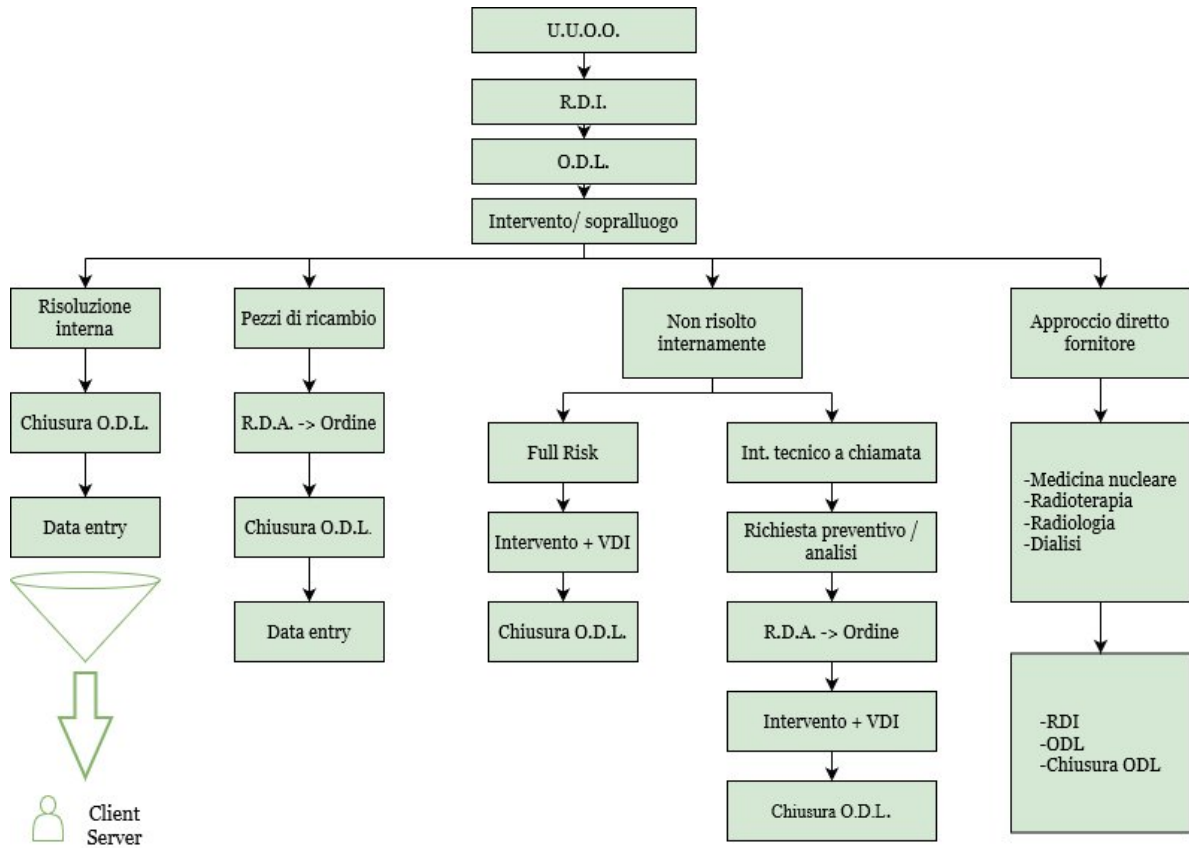


Figura 6: Gestione delle manutenzioni correttive in Humanitas

### Gestione dei contratti di assistenza tecnica

Terminato il periodo di garanzia di un'apparecchiatura, il SIC provvede alla stipula di contratti di assistenza tecnica di diverse tipologie. In particolare, le grandi macchine ad alta e altissima tecnologia, come Gamma Knife ed Acceleratori lineari, vengono coperte da contratti di tipo "Full Risk"; essi coprono interamente gli interventi di manutenzione in cambio di un corrispettivo annuale fisso e sono pertanto vantaggiosi economicamente in caso di apparecchiature con elevati costi di manodopera specializzata e delle parti di ricambio.

## Dismissione e smaltimento

La procedura di dismissione viene intrapresa nel caso in cui le apparecchiature risultino non funzionanti, obsolete o comportino elevati costi a causa di continui interventi di manutenzione correttiva. In tutti questi casi quindi, il SIC provvede al ritiro dell'apparecchiatura in questione, la quale viene contrassegnata da un'etichetta con dicitura "APPARECCHIO DISMESSO" in attesa della definitiva alienazione. Il processo è descritto in Fig.7

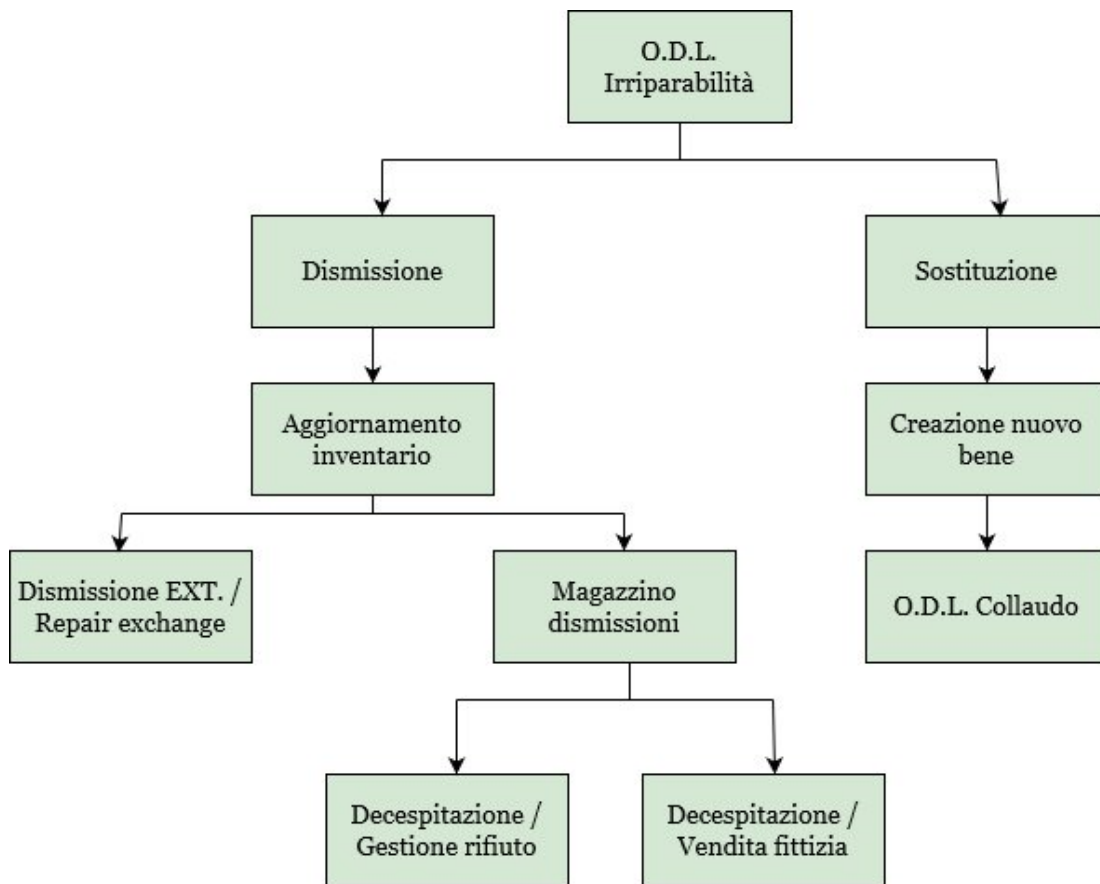


Figura 7: Procedura di dismissione di un'apparecchiatura in Humanitas

## Sistema informatico

Tutte le attività svolte dal SIC vengono registrate sul software gestionale “InfoHealth” (Figura 8). Esso permette di avere un controllo preciso ed in tempo reale dell’intero parco macchine. In questo modo è possibile avere un quadro completo circa le apparecchiature presenti in struttura, l’andamento dell’attività manutentiva, i contratti in essere etc.

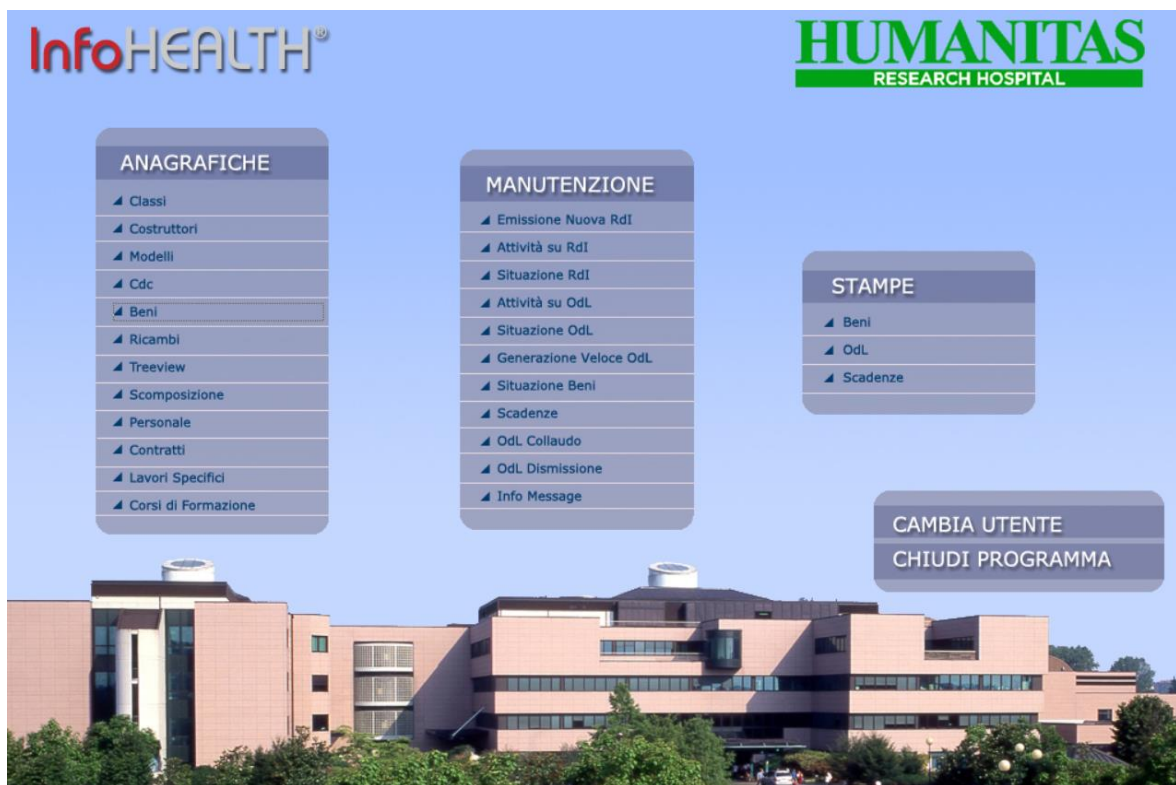


Figura 8: Software gestionale InfoHealth

## 2. Emergenza sanitaria Covid-19

I Coronavirus sono un'ampia famiglia di virus respiratori che possono causare malattie più o meno gravi, dal comune raffreddore fino a sindromi respiratorie come la MERS (sindrome respiratoria mediorientale, *Middle East respiratory syndrome*) e la SARS (sindrome respiratoria acuta grave, *Severe acute respiratory syndrome*).

Si definisce un “nuovo coronavirus”, un nuovo ceppo di coronavirus che non è mai stato identificato nell'uomo.

Il 9 gennaio 2020 l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha dichiarato che le autorità sanitarie cinesi avevano individuato un nuovo ceppo di coronavirus mai identificato prima nell'uomo, provvisoriamente chiamato 2019-nCoV e classificato in seguito ufficialmente con il nome di SARS-CoV-2 (Sindrome respiratoria acuta grave-coronavirus-2)<sup>2</sup>. Il virus è associato ad un focolaio di casi di polmonite registrati a partire dal 31 dicembre 2019 nella città di Wuhan, nella Cina centrale.

L'11 febbraio, l'OMS ha annunciato che la malattia respiratoria causata dal nuovo coronavirus è definita COVID-19 (COrona VIRUS Disease-19).

Il 30 gennaio, l'Istituto Superiore di Sanità (ISS) ha confermato i primi due casi di infezione da Covid-19 in Italia ed il 21 febbraio è stato confermato il primo caso autoctono in Italia.

Al momento, non esistono vaccini per Covid-19; tuttavia, sono in corso molti trial clinici al fine di valutare sicurezza ed efficacia di potenziali trattamenti.

### 2.1. Epidemiologia

La prima segnalazione della malattia avvenne il 31 dicembre 2019 da parte delle autorità sanitarie della città di Wuhan, capitale della provincia di Hubei in Cina. In realtà i primi casi si verificarono nel mese di novembre 2019 ma il governo cinese decise di non promulgare la notizia al di fuori della Cina fino a gennaio 2020.

Intorno a metà dicembre 2019 infatti, le autorità sanitarie della città di Wuhan in Cina (circa 11 milioni di abitanti), riscontrarono i primi casi di pazienti che mostravano i sintomi di una "polmonite di causa sconosciuta"; questo primo gruppo di malati era in qualche modo collegato al mercato umido locale, costituito da circa un migliaio di bancarelle su cui si vendevano anche diverse tipologie di animali. Fin da subito venne ipotizzato che si trattasse

di un nuovo coronavirus proveniente da una fonte animale (una zoonosi). Una zoonosi è infatti definita come una qualsiasi malattia infettiva che può essere trasmessa dagli animali (escluso l'uomo) all'uomo (o viceversa), direttamente (contatto con la pelle, sangue o secrezioni) o indirettamente (tramite altri organismi vettori o ingestione di alimenti infetti).

Il 9 gennaio 2020 viene documentato il primo caso di decesso a causa del SARS-CoV-2; viene quindi confermata da parte dell'OMS una epidemia da nuovo coronavirus.

Da allora il virus si è propagato molto rapidamente in tutta la Cina e negli stati limitrofi, fino a raggiungere, verso la fine di gennaio 2020, anche gli Stati Uniti d'America e l'Europa, nello specifico la Germania.

In particolare, al 26 gennaio 2020, i casi confermati di Covid-19 nel mondo erano poco più di 2000, di cui la maggior parte in Cina, e i decessi 56. A un mese circa di distanza (febbraio 2020), Covid-19 si è diffuso al di fuori della Cina, in altri 27 Paesi del mondo, registrando 77794 contagi confermati e 2348 decessi.

Da qui, il virus ha raggiunto tutti i continenti, tanto che l'11 marzo 2020 il direttore generale dell'OMS Tedros Adhanom Ghebreyesus ha ufficialmente riconosciuto che quella di nuovo coronavirus Sars-Cov-2 non è più un'epidemia ma una pandemia.



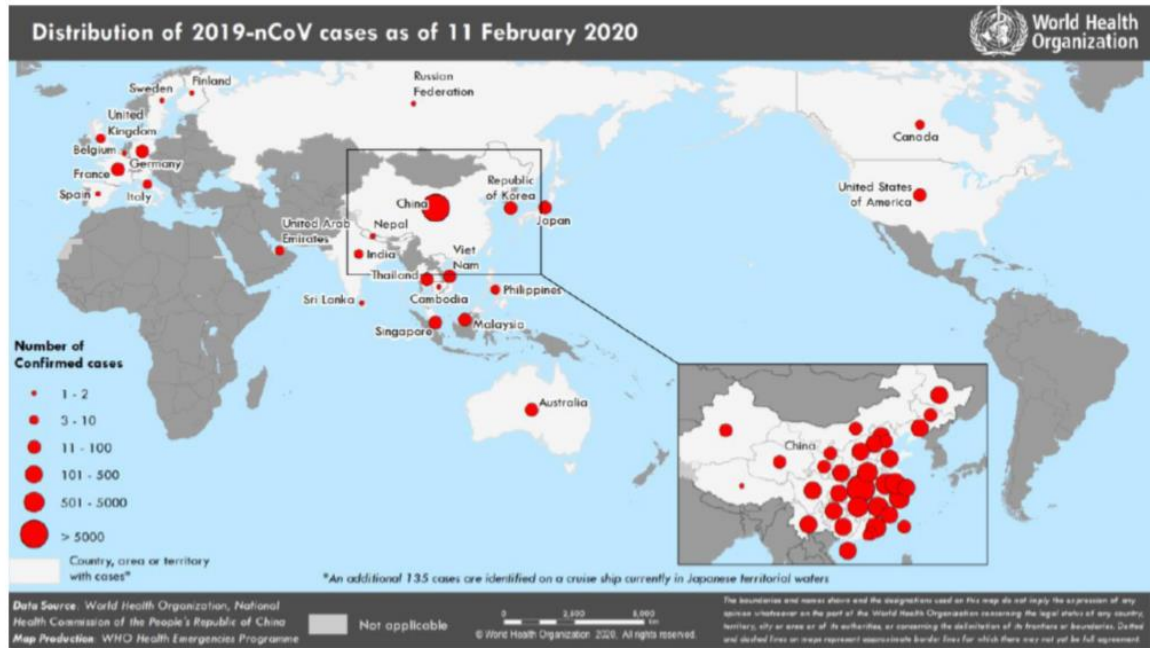


Figura 9: Casi di Covid-19 all'11 febbraio 2020

## 2.2. Modalità di trasmissione

La malattia, come sottolineato in precedenza, è causata dal virus denominato SARS-CoV-2, appartenente alla famiglia dei coronavirus.

È stato confermato che esso è in grado di passare da uomo a uomo<sup>3</sup>. È stato infatti osservato che i coronavirus vengono trasmessi principalmente attraverso uno stretto contatto con un altro individuo, in particolare tossendo e starnutendo verso un altro individuo che si trova entro un raggio di circa 1-2 metri da quella persona.

La trasmissione del Covid-19 nella popolazione umana avviene quindi principalmente attraverso 2 modalità:

- Attraverso inalazione delle goccioline volatili emesse dagli individui contagiati dal virus quando essi parlano, starnutiscono, tossiscono o respirano. Si tratta del cosiddetto "droplet" (particelle con diametro >5 micron), l'insieme di goccioline espulse e contenenti il patogeno, come quelle rilasciate attraverso un comune raffreddore o dall' influenza di stagione. Questa modalità di trasmissione è la più comune e la responsabile della maggior parte delle infezioni.

- Attraverso il contatto fisico con mani, superfici, cibi o oggetti contaminati. Il virus, in condizioni ideali, può infatti persistere su diverse superfici per ore o giorni.

Il periodo di incubazione, ossia il lasso di tempo che intercorre tra esposizione a un agente infettivo e la comparsa dei primi sintomi, può variare da 1 a 14 giorni; mediamente esso si attesta sui 5-7 giorni. Sebbene i virus respiratori siano trasmissibili solitamente quando il soggetto malato presenta anche i sintomi, il SARS-CoV-2 è in grado di diffondersi anche in occasione di un contatto ravvicinato con un paziente ancora asintomatico; questo significa che una persona infetta può trasmettere l'infezione ad altri quando ancora i sintomi di questa non sono comparsi e l'individuo che la sta incubando è apparentemente sano.

Si stima inoltre che il tasso netto di riproduzione della trasmissione del virus da uomo a uomo sia tra il 2,13 e il 4,82. Tale valore indica il numero di altre persone a cui un paziente appena infetto possa trasmettere la malattia.

### 2.3. Sintomi clinici

Quando non è asintomatica, la malattia di solito si manifesta con i tipici sintomi di un'influenza. In particolare, i sintomi più comuni dell'infezione sono:

- Febbre;
- Tosse secca;
- Dispnea;
- Stanchezza;
- Mialgia;
- Congestione nasale;
- Mal di gola;

Tra i sintomi frequentemente riportati nella fase di guarigione vi sono, invece, la perdita del senso dell'olfatto (anosmia) e l'alterata percezione del gusto (disgeusia).

Meno spesso, all'esordio della malattia si manifestano:

- Disturbi gastrointestinale, tra cui diarrea, nausea e/o vomito;
- Cefalea;

- Affaticamento;
- Artralgia;
- Tosse con sangue;
- Congestione congiuntivale.

Nell' 80% dei casi, le persone che contraggono il Covid-19, sviluppano sintomi lievi, che tendono a scomparire dopo qualche giorno e non necessitano quindi di particolare assistenza medica.

I restanti, costituiti per lo più da anziani ed individui con malattie preesistenti, possono sviluppare sintomi più rilevanti, che possono rendere necessario il ricovero in ospedale.

In alcuni casi, infatti, i sintomi sopra descritti possono peggiorare ed evolvere in una polmonite. In questo caso i pazienti presentano seri problemi respiratori dal momento che il Covid-19 induce una forte infiammazione delle vie aeree profonde, al livello dei polmoni, ed essi faticano quindi a respirare e ad introdurre ossigeno a sufficienza per l'ossigenazione degli organi; complicazioni che possono risultare letali.

#### 2.4. Patogenesi

L'apparato respiratorio è il principale bersaglio e strumento di diffusione e trasmissione del SARS-CoV-2. Il virus si lega infatti ad alcune strutture molecolari che sono presenti sulle cellule dell'apparato respiratorio; questo spiega perché il polmone è il principale bersaglio dell'infezione e perché il SARS-CoV-2 può provocare delle polmoniti virali.

In studi di laboratorio si è rilevato che una glicoproteina presente sulla superficie del SARS-CoV-2 chiamata "spike", si lega ad un'altra proteina, localizzata sulla membrana delle cellule umane, denominata ACE2 (angiotensin-converting enzyme 2, in italiano "enzima 2"), un enzima che converte l'angiotensina. Tale enzima contribuisce al corretto funzionamento del sistema denominato "renina-angiotensina", che è fondamentale per la modulazione della pressione arteriosa.

La densità di ACE2 in ciascun tessuto è quindi correlata alla gravità della malattia che si svilupperà in esso. La presenza di questo enzima è preponderante nelle cellule alveolari di tipo II dei polmoni, per questo motivo essi sono l'organo maggiormente colpito. Man mano

che la malattia alveolare progredisce, si può sviluppare insufficienza respiratoria e può seguire la morte.

Il virus può inoltre colpire gli organi gastrointestinali poiché l'ACE2 è abbondantemente espresso anche nelle cellule ghiandolari dell'epitelio gastrico, duodenale e rettale, nonché nelle cellule endoteliali e negli enterociti dell'intestino tenue.

Secondo quanto riporta un articolo pubblicato sul *Nature Reviews Cardiology* “sebbene le manifestazioni cliniche legate alla presenza del virus siano dominate da sintomi respiratori, alcuni pazienti riscontrano gravi danni cardiovascolari”<sup>4</sup>. SARS-CoV-2 può quindi causare lesioni miocardiche acute e danni cronici al sistema cardiovascolare<sup>5</sup>. Danni cardiaci acuti sono stati infatti riscontrati nel 12% delle persone infette ricoverate in ospedale a Wuhan, in Cina. Il tasso di sintomi cardiovascolari è elevato a causa della risposta infiammatoria sistemica e dei disturbi del sistema immunitario durante la progressione della malattia, ma la lesione miocardica acuta può anche essere correlata ai recettori ACE2 nel cuore.

Un'alta incidenza di trombosi (31%) e tromboembolia venosa (25%) è stata riscontrata in pazienti in terapia intensiva con infezioni Covid-19 e può essere correlata a prognosi sfavorevoli.

## 2.5. Trattamento

Benché la stragrande maggioranza delle persone contagiate dal coronavirus manifesti sintomi lievi o assimilabili a quelli di un'influenza stagionale (come evidenziato nella sezione 2.3), una parte sviluppa una grave polmonite bilaterale interstiziale con possibile insufficienza respiratoria. Il 10% dei pazienti, infatti, necessita del ricovero in Terapia Intensiva e di trattamento con un ventilatore polmonare, un dispositivo medico progettato per integrare o sostituire la respirazione compromessa da malattie, traumi e delicati interventi chirurgici.

Si possono distinguere quattro livelli di compromissione respiratoria:

1. *Verde* (SaO<sub>2</sub> > 94%, FR <20);
2. *Giallo* (SaO<sub>2</sub> <94%, FR > 20 ma risponde a ossigeno 10-15 litri/minuto);
3. *Arancione* (SaO<sub>2</sub> < 94%, FR > 20 ma scarsa risposta all'ossigeno 10-15 litri/minuto e necessità di CPAP/NIV con FiO<sub>2</sub> molto alta > 50%);

4. *Rosso* (SaO<sub>2</sub> <94%, FR > 20 ma scarsa risposta all'ossigeno 10-15 litri minuto, CPAP/NIV con FiO<sub>2</sub> molto alta >70% o presentando difficoltà respiratoria con PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> <200 e che necessitano di intubazione endotracheale e Terapia Intensiva).

SaO<sub>2</sub> rappresenta il livello di Saturazione di Ossigeno; per garantire un sufficiente ed efficace apporto di ossigeno ad ogni cellula, durante il transito nei polmoni, il 95-100% degli eritrociti viene caricato (saturato) con l'ossigeno, ma in caso di malattie polmonari si può ridurre la percentuale di eritrociti che trasporta quantità fisiologiche di ossigeno. La saturazione di ossigeno può quindi diminuire in modo significativo; si parla in questo caso di ipossiemia.

FR rappresenta invece la Frequenza Respiratoria, data dal numero di atti respiratori che un individuo compie nell' arco di tempo di un minuto; valori normali nell'adulto: 14-20.

Secondo le Linee Guida della società degli pneumologi italiani, bisogna inoltre<sup>6</sup>:

- Non utilizzare dispositivi aerosol (per la terapia sono da preferire i prodotti personalizzati e pressurizzati);
- Prestare attenzione perché anche i dispositivi di ossigeno causano droplets;
- In fase acuta e sub acuta il monitoraggio ECG, SatO<sub>2</sub> e della pressione arteriosa deve essere continuo;
- Necessario monitoraggio emodinamico e bilancio idrico;
- Attenzione perché i pazienti inizialmente stabili diventano improvvisamente instabili (ipossiemia refrattaria, > FR e febbre alta);
- Attenzione alle comorbilità (diverse comorbilità peggiorano la prognosi e devono essere trattate);
- Prestare molta attenzione alla tenuta delle maschere per evitare perdite eccessive;
- Prevedere alimentazione tramite sondino naso-gastrico o per via parenterale in caso di prolungata terapia con NIV.

A seconda delle condizioni, il paziente può trovare beneficio da una semplice mascherina con ossigeno respirando autonomamente, oppure può avere bisogno di interventi più complessi che nell'ordine sono: un casco respiratorio, la ventilazione non invasiva (maschera collegata a un ventilatore) e l'intubazione.

### *Casco CPAP*

CPAP è l'acronimo di "Continuous Positive Airway Pressure" o "ventilazione a pressione positiva continua". Si tratta di caschi respiratori che permettono di fornire ventilazione artificiale a pazienti con difficoltà respiratorie, ma che si trovano in condizioni meno critiche; chi è in cura per Covid-19, ma non ha sintomi tali da richiedere la degenza in terapia intensiva, indossando il casco potrà restare in reparto, senza risultare contagioso.

La ventilazione non invasiva (NIV), è ampiamente utilizzata nella gestione di pazienti selezionati con insufficienza respiratoria acuta (ARF). Il principale vantaggio teorico della NIV è evitare gli effetti collaterali e le complicazioni legate all'intubazione endotracheale. La pressione positiva continua delle vie aeree (CPAP) può essere somministrata in modo non invasivo in varie forme di ARF. La ventilazione assistita in modalità CPAP consiste nel mantenimento di una pressione positiva costante all'interno delle vie respiratorie, sia in fase inspiratoria che in fase espiratoria; la frequenza respiratoria è determinata dal paziente. La CPAP esercita una pressione costante durante la respirazione spontanea nei pazienti con una pulsione respiratoria intatta e un'adeguata ventilazione alveolare. La CPAP può aumentare la capacità funzionale residua e aprire gli alveoli, migliorando l'ossigenazione e la meccanica polmonare.

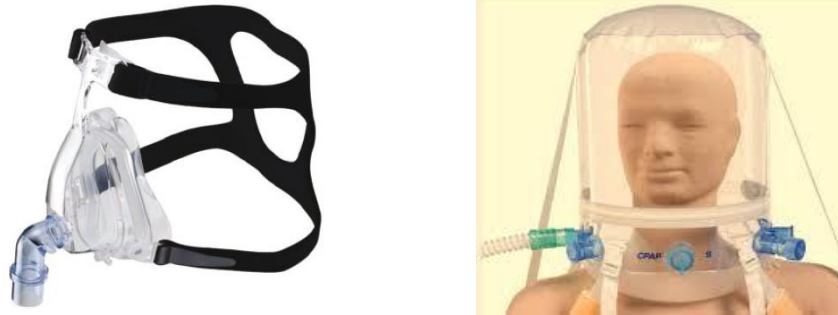
La somministrazione CPAP può essere effettuata con maschera o con casco; nel paziente Covid è consigliato l'utilizzo del casco in quanto la maschera è a maggior rischio di dispersione di droplets.

I supporti non invasivi (tra i quali la CPAP) possono quindi:

- correggere l'ipossiemia aiutando a gestire l'insufficienza respiratoria;
- favorire un migliore reclutamento alveolare grazie alla PEEP;

- evitare o ritardare l'intubazione endotracheale;

dove PEEP è la “*Pressione Positiva di Fine Espirazione*”, la quale favorisce un aumento delle pressioni intra-polmonari migliorando gli scambi intra-alveolari.



*Figura 10: Maschera e Casco CPAP, UptoDate, 2020*

Per i pazienti affetti da Covid-19, viene impostato un valore di CPAP tra 10 e 12 cmH<sub>2</sub>O in base alle esigenze, alla tolleranza del paziente e agli effetti collaterali (la PEEP può essere incrementata fino a 15-20 cmH<sub>2</sub>O).

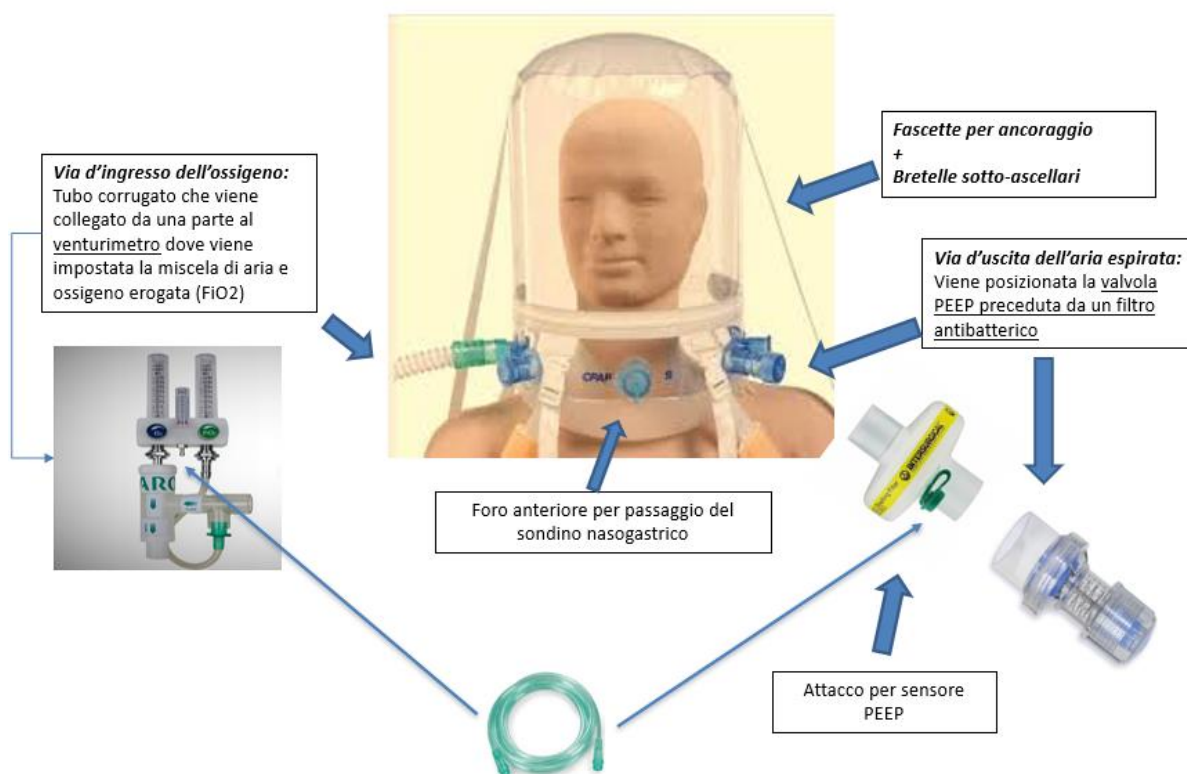


Figura 11: Montaggio Casco CPAP, Humanitas University

Se il paziente con Covid-19 non risponde rapidamente alle strategie messe in atto con trattamenti non invasivi (NIV), si deve considerare un possibile deterioramento della ipossiemia e la necessità di intubazione. In particolare, è necessario prestare particolare attenzione ai seguenti casi:

- Nessuna stabilizzazione o miglioramento dei valori EGA (PH e PaCO<sub>2</sub>);
- Peggioramento stato di coscienza o agitazione;
- Impossibilità ad espellere le secrezioni;
- Intolleranza a qualsiasi interfaccia;
- Instabilità emodinamica;
- Peggioramento dell'ossigenazione.

Nei casi sopraelencati, si richiede quindi un'intubazione endotracheale.



### *Intubazione endotracheale*

Nel caso in cui il casco si riveli insufficiente per la gravità del paziente, si procede al ricovero in Terapia Intensiva, un particolare reparto dove personale specializzato segue costantemente i pazienti e le loro condizioni di salute.

Per intubare i pazienti è può risultare necessario sottoporli ad anestesia generale, condizione in cui ogni singolo paziente dovrà rimanere per diversi giorni. Come suggerisce il termine “intubazione”, la procedura implica l’inserimento di un tubo in gola che passa in profondità nella trachea superando le corde vocali, in modo che possa convogliare l’aria nei polmoni e farli espandere e contrarre artificialmente grazie al ventilatore cui è collegato.

L’anestesia serve sia per facilitare l’inserimento del tubo, sia per evitare che i pazienti siano coscienti e cerchino di contrastare involontariamente la respirazione indotta dal ventilatore, con il rischio di peggiorare ulteriormente le condizioni dei loro polmoni.

Oltre agli anestetici per indurre lo stato di incoscienza, i medici possono somministrare farmaci miorilassanti, cioè per rilassare la muscolatura, in modo che i polmoni restino flosci e reagiscano meglio alla ventilazione. Nel caso delle polmoniti causate da coronavirus, spesso è opportuno posizionare i pazienti in posizione prona, pratica che può migliorare l’ossigenazione dei polmoni.

### 2.6. Situazione in Italia

I primi casi di infezione da Covid-19 nel nostro Paese sono stati confermati dall’Istituto Superiore di Sanità (ISS) il 30 gennaio 2020. Si trattava di due turisti cinesi ricoverati dal 29 gennaio all’Istituto nazionale per le malattie infettive “Lazzaro Spallanzani” di Roma. Le Autorità sanitarie regionali hanno attuato tutte le misure per tracciare i contatti in via precauzionale, in accordo con le misure già definite dal Ministero della Salute. Tutte le Regioni italiane, sulla base della circolare ministeriale, si sono attivate nella valutazione di casi sospetti. Tutti i contatti sono risultati negativi.

Il 21 febbraio 2020, l’ISS ha confermato il primo caso autoctono in Italia (risultato positivo all’Ospedale Sacco di Milano), primo caso di trasmissione locale di infezione da nuovo coronavirus. Sono stati infatti confermati 16 casi nel comune di Codogno, in provincia di Lodi, aumentati a 60 il giorno successivo con i primi decessi segnalati negli stessi giorni.

La Regione Lombardia, in stretta collaborazione con ISS e Ministero della Salute, ha avviato le indagini sui contatti dei pazienti al fine di prendere le misure di prevenzione necessarie e identificare i casi di trasmissione autoctona.

#### *Focolaio in Lombardia*

Il 18 febbraio 2020 un uomo di 38 anni proveniente dalla città di Crema, si presenta all'ospedale civico di Codogno con sintomi di influenza, identificata come una leggera polmonite. In seguito al peggioramento delle sue condizioni fisiche, egli decide di recarsi nuovamente al pronto soccorso, dove gli viene eseguito un tampone diagnostico, non ancora previsto dai protocolli sanitari. Il paziente (che non si era mai recato in Cina) ed in seguito anche la moglie incinta ed un amico sono risultati positivi.

Altri casi sono stati poi confermati lo stesso giorno ed i giorni seguenti fino ad arrivare a quota 16 casi confermati il giorno 21 febbraio 2020. Viene quindi presa la decisione di condurre approfondite analisi su tutte le persone con cui essi erano stati potenzialmente in contatto.

Il 22 febbraio, il numero di casi in Italia è salito a 79.

Durante la settimana successiva, molti altri casi di persone positive al Covid-19 sono stati riscontrati in diverse regioni italiane, tutti però provenienti dalla Lombardia.

#### *Focolaio in Veneto*

Il 21 febbraio due persone sono state riscontrate positive per infezioni da Covid-19 in Veneto. Il giorno successivo, uno di loro, un uomo di 78 anni è deceduto all'ospedale Madre Teresa di Calcutta di Schiavonia, nel comune di Monselice, diventando la prima vittima del virus in Italia. L'uomo viveva nel comune di Vo', che è stato consequenzialmente messo in quarantena.

A distanza di soli 2 giorni, il numero di infezioni sale a 25 in tutto il Veneto fino ad arrivare a 151 casi confermati al 28 febbraio, con 70 casi solo nel comune di Vo', incluse due morti.

### 2.7. Misure di prevenzione

Dal momento che non esiste al momento un vaccino per il virus SARS-CoV-2, le misure di precauzione per evitare di contrarre la malattia si basano su regole di base per la prevenzione delle malattie infettive respiratorie<sup>7</sup>:

- Lavarsi spesso le mani, con acqua e sapone o con gel a base alcolica;
- Evitare il contatto ravvicinato con persone che soffrono di infezioni respiratorie acute;
- Evitare abbracci e strette di mano;
- Mantenere, nei contatti sociali, una distanza interpersonale di almeno un metro;
- Praticare l'igiene respiratoria (starnutire e/o tossire in un fazzoletto evitando il contatto delle mani con le secrezioni respiratorie);
- Evitare l'uso promiscuo di bottiglie e bicchieri, in particolare durante l'attività sportiva;
- Non toccarsi occhi, naso e bocca con le mani;
- Coprirsi bocca e naso se si starnutisce o tossisce;
- Non prendere farmaci antivirali e antibiotici, a meno che essi siano prescritti dal medico;
- Pulire le superfici con disinfettanti a base di cloro o alcol;

È fortemente raccomandato in tutti i contatti sociali di utilizzare protezioni delle vie respiratorie come misura aggiuntiva alle altre misure di protezione individuale igienico-sanitarie.

Se si presentano febbre, tosse o difficoltà respiratorie e si sospetta di essere stato in stretto contatto con una persona affetta da malattia respiratoria Covid-19 è necessario restare in casa, non recarsi al pronto soccorso o presso gli studi medici ma chiamare al telefono il medico di famiglia, il pediatra o la guardia medica. Oppure chiamare il numero verde regionale. Utilizzare i numeri di emergenza 112/118 solo in caso di peggioramento dei sintomi o difficoltà respiratoria.

## 2.8. Ruolo dell'ingegneria clinica

All'inizio dell'epidemia, le difficoltà operatorie riguardavano soprattutto gli ospedali lombardi, la regione più colpita nei primi giorni della diffusione di Sars-Cov-2, come evidenziato nel paragrafo 2.6. Non vi era quindi una corretta percezione delle dimensioni del problema, nonostante le informazioni provenienti dalla Cina e dai Paesi inizialmente più colpiti.

La particolarità della Lombardia è stata il fatto che, una volta scoperto il primo caso positivo a Codogno, si è verificata un'esplosione di casi che si è rivelata immediatamente grave. Le unità di terapia intensiva si sono saturate molto velocemente ed è stato necessario iniziare a gestire molto rapidamente i pazienti arrivati al Pronto Soccorso in condizioni meno gravi ma comunque complicate. Ciò ha determinato la necessità di creare rapidamente luoghi forniti di attrezzatura ventilatoria come i caschi CPAP, in nuovi luoghi di terapia intensiva; tutto questo doveva realizzarsi entro 5/6 giorni al massimo.

Da qui, si è subito evidenziata l'importanza della figura degli ingegneri clinici, che sono stati poi definiti "The hidden heroes of the COVID-19 crisis", cioè gli eroi nascosti dell'emergenza Covid-19<sup>8</sup>.

Nella fase iniziale, gli ingegneri clinici erano coinvolti nella raccolta di attrezzature presenti all'interno dell'ospedale, poiché l'impressione era che l'emergenza potesse essere gestita con ciò che era già disponibile. Con l'aumentare dei numeri, divenne subito chiaro che era necessario ricorrere al mercato e acquistare nuove attrezzature. L'esplosione del numero di casi ha effettivamente saturato la disponibilità.

La rete di Ingegneri Clinici ha permesso la diffusione di informazioni relative alle esigenze e alla gestione dei pazienti Covid; in questo modo le regioni che hanno subito l'ondata di casi, in seguito, hanno avuto il tempo di adattare le loro strutture e procurarsi il materiale necessario. Il problema alla base è che ancora non si conosceva la quantità di materiale che sarebbe effettivamente servito per fronteggiare l'emergenza, per cui le regioni si mossero acquistando tutti gli strumenti possibili dai propri fornitori; quantità che comunque non fu abbastanza.

Al mese di aprile 2020, secondo il vicepresidente dell'Associazione Italiana Ingegneri Clinici (AIIC), ing. Umberto Nocco, persistono due problemi<sup>9</sup>:

1. La saturazione dei luoghi di terapia intensiva e la necessità di crearne altri, ma senza avere spazi a disposizione. Pertanto, il layout o le funzioni degli ospedali e dei reparti devono essere rivisti per creare nuovi luoghi;
2. L'indisponibilità delle attrezzature (ventilatori e sistemi di monitoraggio) sia perché i produttori non dispongono di una capacità di produzione "di emergenza" e

l'adattamento delle linee di produzione richiede più di 10 giorni, sia perché l'evoluzione dell'epidemia a livello sovranazionale ha portato alcuni Stati a mantenere internamente l'intera produzione piuttosto che condividerla con Paesi esteri.

Le principali difficoltà riguardano quindi le continue richieste di dotazione affinché vengano gestiti i pazienti affetti da Covid-19 al meglio; questo riguarda sia i ricoveri ospedalieri ordinari con la necessità di non diffondere l'infezione, sia i pazienti più gravi che si trovano nelle unità di terapia intensiva.

La creazione di nuovi posti di terapia intensiva non è solo un problema di disponibilità di spazi adatti (in una situazione di emergenza possono essere infatti utilizzati anche locali che normalmente non avrebbero tutte le caratteristiche richieste per la terapia intensiva) ma soprattutto la disponibilità delle attrezzature necessarie, in particolare ventilatori e monitor.

Gli ingegneri clinici svolgono un ruolo importante in questo scenario: essi sono infatti coinvolti sia nel recupero di tutte le attrezzature disponibili in ospedale, ad esempio quelle utilizzate in diversi reparti, sia nell'acquisto di nuove apparecchiature e nella creazione rapida di nuovi posti letto di terapia intensiva. È inoltre fondamentale che gli ospedali non si concentrino solamente sull'emergenza sanitaria, poiché essi devono garantire assistenza continua anche ai pazienti ricoverati in ospedale per diverse patologie ed ai pazienti che si presentano al pronto soccorso per problematiche diverse da quelle legate al Covid-19.

L'ing. Umberto Nocco sottolinea inoltre come sia particolarmente rilevante che gli ingegneri clinici vengano coinvolti direttamente nei gruppi di lavoro, sia a livello ospedaliero che a livello regionale e nazionale, per portare in tali discussioni la competenza relativa alle apparecchiature elettromedicali, che in questa situazione è di fondamentale importanza. Essi devono inoltre essere pronti ad iniziare a dotare gli ospedali di nuovi luoghi di terapia intensiva, anche temporanei; è necessario ottenere immediatamente le attrezzature necessarie, e in questo la collaborazione con i produttori (locali e multinazionali) è importante.

### 3. La risposta di Humanitas

La sfida consiste nella trasformazione di un ospedale policlinico altamente specializzato in una struttura completamente diversa, caratterizzato da una forte presenza di pazienti Covid-19. Nel frattempo, secondo le indicazioni delle Autorità Sanitarie Locali (Regione Lombardia), l'ospedale deve continuare a gestire i pazienti affetti da diverse patologie; una sfida senza precedenti per Humanitas, che non era nemmeno dotato di un dipartimento di malattie infettive. Questa sfida è stata accolta da una squadra di professionisti, composta da ufficio tecnico, ingegneria clinica, servizi generali ed informativi, i quali hanno contribuito alla progettazione, creazione e al corretto funzionamento di una nuova realtà clinica. In questo modo, infatti, i clinici coinvolti in prima linea per la cura del paziente, sono stati autorizzati a svolgere il loro lavoro in modo sicuro, grazie alla presenza di percorsi e spazi dedicati e ben separati per i pazienti Covid. Vengono elencate nei seguenti paragrafi le sfide e le azioni intraprese dal personale di Humanitas al fine di fronteggiare le prime fasi della pandemia di Covid-19<sup>10</sup>.

#### 3.1. Aspetti gestionali

Il primo step consiste nella creazione di un team dedicato alla gestione della crisi. In particolare, deve essere coinvolto il personale del Pronto Soccorso, dell'unità di Terapia Intensiva, di medicina interna e i responsabili delle attività gestionali. Risulta di fondamentale importanza il fatto che essi si riuniscano quotidianamente per fare il punto della situazione ed analizzare eventuali situazioni critiche.

Devono inoltre essere definiti i contatti interni ed esterni; i contatti interni rappresentano, ad esempio, le risorse umane, i medici ed infermieri, la farmacia, i tecnici di laboratorio, mentre i punti di contatto esterni includono enti locali, fornitori nazionali ed internazionali ed eventualmente altri ospedali.

Il dipartimento d'emergenza rappresenta la prima area che necessita di una riprogettazione, poiché è proprio da esso che origina il flusso dei pazienti positivi al virus. È essenziale creare due diversi dipartimenti d'emergenza, uno dedicato ai pazienti respiratori e quindi potenzialmente positivi, ed uno per tutte le altre tipologie di pazienti.

Deve essere istituita un'area di pre-triage esterna all'ospedale, in modo tale da differenziare dall'origine i pazienti potenzialmente affetti da Covid-19 da quelli non infettivi.

All'interno dell'ospedale, devono essere create aree dedicate ai pazienti positivi, possibilmente in pressione negativa. I contatti con queste zone devono essere limitati ed i pazienti al loro interno dovrebbero essere posti almeno a 2 metri di distanza l'uno dall'altro.

Devono essere inoltre ampliati i servizi di laboratorio e di pulizia, oltre a quelli di emergenza come la Terapia Intensiva.

Tutto il personale deve essere costantemente monitorato al fine di escludere la presenza di eventuali segni di malattia prima di entrare all'interno dell'ospedale ed iniziare il turno di lavoro.

Deve essere inoltre previsto il trattamento di un'elevata quantità di rifiuti infettivi e un aumento di pazienti deceduti, con un conseguente aumento del materiale, dei frigoriferi e del numero di aree dedicate.

L'approvvigionamento è uno dei punti più critici; per questo motivo è essenziale disporre di un team dedicato all'acquisto del materiale necessario ed al monitoraggio e aggiornamento dell'inventario quotidianamente. Deve essere garantita una fornitura ininterrotta di materiale per la Terapia Intensiva, di pompe per infusione, di materiale per disinfezione e di bidoni per i rifiuti infettivi.

### 3.2. Gestione delle strutture

Numerosi spazi all'interno dell'ospedale sono stati radicalmente trasformati in modo tale da renderli adatti alla presenza di pazienti Covid. Al tempo stesso, sono state allestite aree temporanee esterne come tende, servizi igienici e edifici prefabbricati.

I reparti dedicati ai pazienti infetti differiscono da quelli normali poiché sono dotati di un sistema di ventilazione a pressione negativa, in modo tale che non si verificano flussi di aria dalle camere ospitanti pazienti Covid verso altre aree della struttura.

L'intero ospedale è stato quindi ridisegnato in modo tale da soddisfare al meglio le nuove esigenze di questa tipologia di pazienti.

#### *Ventilazione, ossigeno ed aria compressa*

I pazienti affetti da Covid presentano problemi respiratori che, nei casi più gravi, necessitano di ventilazione forzata per essere risolti. Per questo motivo, i reparti di degenza, i blocchi operatori e le terapie intensive sono stati profondamente modificati. Le unità di terapia

intensiva devono prevedere un impianto di ventilazione a pressione negativa. Per portare un reparto che di solito è neutro o in sovrappressione (come blocchi operatori o terapia intensiva) in bassa pressione è necessario controllare la ventilazione, che deve rispondere a parametri molto precisi.

I blocchi operatori sono camere dotate di Unità di Trattamento Aria (UTA) per ogni camera e sono fornite di sistemi di espulsione; essi presentano inoltre zone di pre e post con un sistema di aereazione esterno dotato di scatole di alimentazione ed espulsione. In questa zona dell'ospedale, l'area selezionata per i pazienti Covid in terapia intensiva, è la postazione di pre/post, con conseguente chiusura degli ammortizzatori della fornitura e apertura completa delle scatole di espulsione. Le sale operatorie sono state portate a basso regime (circa 6 ricambi/ora) e tutte le espulsioni sono state recuperate, trasformandole in un serbatoio per lo scambio dell'aria del pre/post. In questo modo le porte delle sale possono essere mantenute aperte ed il pre/post aspira l'aria in pressione negativa (5Pa).

Nei reparti, dotati anch'essi di un sistema di aria esterna con scatole di alimentazione ed espulsione, sono state effettuate disconnessioni dai canali ad alta pressione del corridoio di fronte alle stanze al fine di mantenerlo sotto pressione. Sono state chiuse manualmente tutte le scatole di alimentazione di ogni singola stanza, lasciando il sistema di espulsione completamente aperto. In questo modo la pressione creata nel corridoio viene aggiunta alla depressione presente in ogni camera, fino a passare da 3 ad 11 Pa. Dal momento che la regolazione della temperatura in ogni stanza dipende da batterie di post-riscaldamento, è stata impostata l'UTA in modo tale da avere un flusso fisso; in questo modo è stato possibile mantenere un livello di temperatura accettabile nel reparto.

In dialisi, una zona anch'essa dotata di un sistema d'aria esterna con scatole di alimentazione ed espulsione, è stata creata una zona dotata di 4 posti letto in modo tale da separare fisicamente i letti riservati ai pazienti Covid. La ventilazione era costituita da prese di rifornimento ed espulsione con otturatore per ogni area.

Le Terapie Intensive, [Terapia Intensiva Generale (TIG), Terapia Intensiva di Cardiocirurgia (TIC) e Unità di Cura Coronaria (UCC)] sono un sistema con UTA dedicata, con aria di provenienza completamente esterna, con batterie di post-riscaldamento per ciascuna area e scatole di espulsione. Qui è possibile creare una depressione chiudendo uno



dei due ammortizzatori oppure riducendo l'alimentazione del flusso d'aria e aprendo completamente l'espulsione.

Per trattare l'insufficienza respiratoria di molti pazienti, è necessaria inoltre un'elevata quantità di ossigeno. Nel mese di marzo, l'istituto clinico Humanitas ha sperimentato un aumento da 1200 a quasi 4000 litri al giorno di ossigeno liquido, per un totale di 180 pazienti Covid, 25 dei quali ricoverati in terapia intensiva.

Affinchè lo scambiatore funzioni al meglio, deve essere eseguito un lavaggio con acqua calda in modo tale da diminuire la formazione di ghiaccio. È inoltre necessario disporre di due scambiatori per posto letto, in modo da avere un ricambio in caso di emergenza. La percentuale di ossigeno nella stanza deve essere sempre inferiore al 23-24%; per questo motivo, è necessario tenere le finestre aperte (per circa 15 secondi ogni 2 ore) nelle stanze con pazienti che utilizzano ventilatori ad alto consumo di ossigeno. È inoltre essenziale adottare tutte le procedure necessarie per consentire un rifornimento tempestivo delle scorte di ossigeno e disporre di una riserva di bombole di ossigeno per le aree senza prese di questo gas medicale.

Per quanto riguarda invece l'aria compressa, essa è necessaria per la ventilazione del paziente, per cui deve essere presente in terapia intensiva e nei blocchi operatori.

### *Spazi temporanei*

Al fine di separare adeguatamente i pazienti Covid da quelli risultati negativi al test, è essenziale ampliare gli spazi creandone di nuovi, in modo da garantire la sicurezza dell'intera comunità ospedaliera. In alcune zone risulta necessario apporre modifiche strutturali al fine di garantire elettricità, acqua potabile, acqua calda, riscaldamento/condizionamento dell'aria e gas medicali. È inoltre necessario attivare il collegamento al sistema fognario. Infine, è essenziale prevedere un ampliamento dell'obitorio attraverso l'uso di celle frigorifere, da collocare negli spazi presenti, in una tenda esterna opportunamente raffreddata oppure in contenitori con celle frigorifere. Inoltre, è da considerare anche la necessità di conservare molte attrezzature di protezione personale (come maschere, indumenti usa e getta, ecc.), che rende quindi essenziale la disponibilità di un adeguato spazio di stoccaggio. Questo può essere risolto, ad esempio, utilizzando uno spazio esterno (capannone, magazzino, ecc.) o, se questa soluzione non è fattibile, firmando un contratto

con fornitori esterni che saranno responsabili della conservazione del materiale nei loro magazzini e fornendo all'ospedale sia consegne programmate che urgenti.

#### *Creazione di letti dedicati ai pazienti Covid*

Al fine di ricavare posti letto di Terapia Intensiva da dedicare ai pazienti Covid, sono state sfruttate le aree di preparazione dei blocchi operatori, essendo esse già dotate di prese elettriche e di connessione ai gas medicali.

In particolare, per ciascun posto letto sono stati organizzati:

- sistemi di monitoraggio della frequenza cardiaca, della temperatura, un'ossimetria ad impulsi, della pressione non invasiva ed almeno due invasive e per rilevazione dell'indice bi-spettrale;
- letto regolabile elettricamente, con possibilità di estensione al fine di posizionare il paziente in posizione prona;
- ventilatore polmonare ad alte prestazioni dotato di umidificatore, in grado di effettuare qualsiasi tipo di ventilazione;
- carrello elettrico, eventualmente dotato di trasformatore di isolamento, a cui possono essere collegate almeno 6 pompe a siringa, 2 pompe volumetriche, 1 pompa nutrizionale;
- carrello per medicinali e dispositivi;
- IV stand;
- flussimetro per l'ossigenoterapia a rotazione ad alto flusso/doppia palla con sistema Venturi per effettuare terapia tramite casco CPAP.

In ogni unità di terapia intensiva dedicata a pazienti Covid sono sempre presenti ecocardiografo, analizzatore di emogas, ecotomografo multidisciplinare, laringoscopia a video per le intubazioni più complicate, sistemi per broncoscopia mono-paziente e sistemi per la radiografia digitale portatile.

Quest'area, con un totale complessivo di 40 letti, è stata inoltre dotata di un sistema di monitoraggio telemetrico con interfaccia utente grafica (GUI) per permettere il monitoraggio continuo dei 10 pazienti in condizioni più gravose e di monitor con ossimetri ad impulsi palmari e termometri timpanici con tappo usa e getta per i pazienti meno complessi.

Inoltre, ogni reparto dedicato al Covid-19, è stato dotato di: doppio carrello di emergenza, completo di defibrillatore e aspiratore chirurgico, almeno 5 sistemi per eseguire la ventilazione CPAP a casco, unità di bronco-aspirazione da collegare alla presa del vuoto, ecocardiografo, analizzatore di emogas ed ecotomografo multidisciplinare.

### *Servizi generali*

Come evidenziato nei paragrafi precedenti, l'elemento fondamentale per evitare la diffusione del virus Sars-Cov-2 è quella di provvedere all'isolamento dei pazienti infetti e di prendere tutte le precauzioni necessarie nel maneggiamento e nello stoccaggio dei prodotti che entrano in contatto con essi. Per questo motivo, oltre alla riorganizzazione degli spazi interni ed esterni, è stato organizzato anche un servizio di ambulanza dedicato al trasporto di pazienti Covid. Quando necessario, viene quindi utilizzata un'ambulanza apposita, con a bordo operatori dotati di tutti i dispositivi di protezione necessari, che viene poi sanificata al termine di ogni viaggio.

All'ingresso di ogni reparto Covid è stata allestita una stanza dotata dei necessari dispositivi di protezione, al fine di garantire la corretta medicazione e spogliazione del personale. Agli ingressi dell'ospedale sono state create delle stazioni apposite dove tutti coloro che devono entrare in ospedale (pazienti, visitatori, lavoratori e fornitori esterni) vengono dotati di mascherine chirurgiche e sottoposti a misurazione della temperatura corporea e ad igienizzazione delle mani.

Al fine di garantire che le distanze di sicurezza vengano rispettate, schermi in plexiglas e dissuasori mobili sono stati collocati nei punti di accettazione del paziente. Nella mensa del personale sono stati inoltre dimezzati i posti a sedere.

Anche per lo smaltimento dei rifiuti e per la gestione dei servizi igienico-sanitari devono essere rispettate specifiche procedure: i rifiuti provenienti da reparti Covid, vengono raccolti in un alipack giallo che, una volta pieno, viene sigillato ed inviato all'inceneritore.

La procedura igienico-sanitaria prevede inoltre una pulizia di tutte le superfici con prodotti a base di cloro, da eseguire due volte al giorno. Quando possibile, il transito di un paziente Covid deve essere seguito da un'igiene dell'intera sezione interessata (che viene chiusa per circa 40-50 minuti), tramite utilizzo di prodotti al cloro. Per disinfettare la biancheria (fogli, abiti e uniformi di medici e infermieri) è sufficiente un normale lavaggio a 60-90°C.

Il bucato sporco viene conservato in un doppio sacchetto, anche quello da consegnare alle famiglie dei pazienti. A seguito della sospensione delle visite ai pazienti ricoverati in ospedale, infatti, è stato istituito un punto speciale all'esterno dell'ospedale per la consegna della biancheria personale.

### 3.3. Unità di Terapia Intensiva

In condizioni ordinarie, in Humanitas l'area di Terapia Intensiva è composta da 15 posti letto in terapia intensiva generale, 9 letti in terapia intensiva cardiaca e 7 letti sub-intensivi nell'unità di cura coronarica, per un totale quindi di 31 posti letto. In risposta all'epidemia di Covid-19, l'ospedale ha completamente riorganizzato l'area di cura critica, passando da nessun posto letto per pazienti positivi al virus a 45 posti. Per ottenere questi risultati sono stati necessari diversi step:

#### *Step 1: Creazione di spazi dedicati ai pazienti Covid*

Il 21 febbraio 2020, la Direzione Ospedaliera è stata informata dell'arrivo dell'epidemia di Covid-19 nella zona di Lodi e Milano, con presenza di decine di pazienti che necessitavano di ventilazione meccanica e di ricovero in Terapia Intensiva. Sulla base dei dati provenienti dalla Cina riguardo alla necessità di isolamento per pazienti infettivi, il servizio di terapia intensiva di Humanitas è stato completamente ridimensionato al fine di creare aree dedicate ai pazienti Covid; contemporaneamente l'ospedale ha ridotto e successivamente chiuso le attività elettive, conformemente alla regolamentazione regionale.

L'unità di terapia di post-anestesia (Post-Anesthesia Care Unit, PACU), situata in concomitanza con la sala operatoria, è stata la prima ad essere dedicata ai pazienti Covid dal momento che essa possedeva le dimensioni adatte e prevedeva attacchi di alimentazione con ossigeno e gas medicali. Ulteriori vantaggi erano la sua vicinanza con il Pronto Soccorso, la facilità di accedere alla zona tramite montalettighe e la vicinanza alla radiologia dedicata al Covid. Gli spogliatoi presenti sono stati dedicati alla preparazione del personale coinvolto nell'area.

L'area in terapia intensiva è stata completamente attrezzata fin dall'inizio dell'emergenza; essa conteneva infatti un ventilatore per ogni posto letto, una macchina ad ultrasuoni con sonde per l'ultrasonografia cardiaca / polmonare, intubazione avanzata ed apparecchiature a fibra ottica ed infine sistemi per la terapia di sostituzione renale.

Inizialmente in quest'area sono stati collocati 4 letti di terapia intensiva, con altri 4 posti letto medicali per i pazienti che necessitavano di ricovero ospedaliero. Grazie alla presenza del centro di simulazione, infermieri, medici ed in generale il personale sanitario, sono stati completamente formati in meno di 72 ore riguardo ad attività critiche come l'intubazione.

Il personale dell'unità di Terapia Intensiva ha anche partecipato alla riorganizzazione del Dipartimento di Emergenza (ED): 5 sale ambulatoriali del Pronto Soccorso sono state trasformate in "zona giallo/rossa" per i potenziali casi Covid, in modo tale da poter ospitare pazienti che necessitavano di ventilazione non invasiva o di ossigeno ad elevato impatto. Per i casi che invece necessitavano di un tempo maggiore per la conferma della presenza del virus, è stata istituita una "zona rossa" dove i pazienti potevano disporre di ventilazione meccanica in attesa della conferma da parte del laboratorio.

L'unità di terapia intensiva è stata così in grado di accogliere i primi 4 pazienti durante la prima settimana dell'emergenza, ma il numero dei contagiati ha poi iniziato a crescere esponenzialmente.

Con l'aumento del numero di pazienti che si recavano al Pronto Soccorso, l'ospedale ha dovuto nuovamente riorganizzarsi ed ha istituito il primo reparto per pazienti Covid. Di conseguenza, i quattro letti medicali sono stati rimossi dall'area Covid istituita in precedenza e l'intero locale è stato dedicato ai pazienti Covid ricoverati in Terapia Intensiva.

In meno di 10 giorni, 16 pazienti sono stati ricoverati nell'area PACU-COVID (definita poi COVID-BOE) ed è diventato rapidamente chiaro che era necessario ricavare uno spazio maggiore.

### *Step 2: Crescita esponenziale nel numero di posti letto di terapia intensiva*

Nei giorni successivi, l'area COVID-BOE ha ospitato 12 pazienti e 4 nuovi posti letto sono stati istituiti nell'area confinante di preanestesia. COVID-BOE ospitava quindi 16 pazienti ed è stato dotato di 9 infermieri di terapia intensiva e 2 anestesisti, con turni di lavoro di 6 ore. Contemporaneamente il numero di pazienti non-Covid che necessitavano di terapia intensiva è diminuito ed essi sono stati posizionati in 15 letti polivalenti in Terapia Intensiva Generale (TIG).

Sono state poi aperte due nuove unità di terapia intensiva Covid: una dotata di 9 posti letto collocata nell'area di terapia intensiva cardiaca, e la seconda equipaggiata da 7 letti nell'unità di cura coronarica. Nel Pronto Soccorso, "l'area rossa" per i casi sospetti è stata estesa da 2 a 3 posti letto. In meno di 3 settimane, l'ospedale è stato quindi in grado di prendersi carico di più di 32 pazienti Covid in Terapia Intensiva più 3 pazienti sospetti positivi in Pronto Soccorso.

### *Step 3: Creazione di aree dedicate per i pazienti non-Covid*

Poiché un numero crescente di pazienti aveva bisogno dell'ammissione in terapia intensiva dal reparto, l'area di terapia intensiva Covid è stata nuovamente ampliata. Per fare questo, l'unità di terapia intensiva non-Covid è stata spostata in un'unità di terapia intensiva dedicata in un'altra area PACU e dotata di 8 posti letto. L'unità di terapia intensiva polivalente è stata quindi convertita in una nuova terapia intensiva Covid, con altri 10 posti letto. A 25 giorni dall'epidemia, l'ospedale ospitava 42 letti di terapia intensiva Covid, più 3 posti in terapia intensiva nel Pronto Soccorso, per un totale di 45 letti Covid.

In risposta alla richiesta del centro di coordinamento regionale di rimanere attivo come centro di riferimento per i pazienti ictus e oncologici, Humanitas si occupa contemporaneamente di 8 posti letti di terapia intensiva non-Covid, per un totale di 53 posti letto di terapia intensiva.

### 3.4. Dipartimento d'emergenza

Fin dall'inizio della pandemia, il dipartimento d'emergenza dell'Istituto Clinico Humanitas si è mosso per effettuare trasformazioni interne in modo tale da diventare funzionale per le esigenze imposte dal Covid-19. Di fondamentale importanza è stata la creazione di sei percorsi specifici:

1. Pre-Triage;
2. Codice verde "senza Coronavirus";
3. Codice verde "potenzialmente infetto";
4. Codice giallo/rosso "senza Coronavirus";
5. Codice giallo/rosso "potenzialmente infetto";
6. Codice rosso "potenzialmente infetto ed intubato".

Ciascun percorso è indipendente da tutti gli altri; questa netta separazione dei flussi ha permesso di evitare l'esposizione dei pazienti a potenziali infezioni da Sars-Cov-2.

### *Pre-Triage*

All'interno della "zona calda", è stata creata una nuova postazione per far fronte all'emergenza Covid-19: il pre-triagista. Egli fa parte del personale sanitario, in particolare è un infermiere, il quale, utilizzando i corretti dispositivi di protezione individuale, esegue una valutazione iniziale dei pazienti in arrivo al Dipartimento d'emergenza. In questo modo è possibile filtrare preventivamente i pazienti con febbre e/o sintomi di insufficienza respiratoria, anosmia e diarrea.

### *Codici verdi "senza Coronavirus"*

In seguito alla prima ispezione nell'area di pre-triage, i pazienti privi di sintomi respiratori e/o febbre e con un codice a bassa priorità vengono inviati in un'area dedicata all'interno di un locale adiacente al Pronto Soccorso. Qui i pazienti vengono assistiti da un medico, due infermieri e personale sanitario. In caso fossero necessarie indagini radiologiche, esse vengono eseguite in radiologia centrale, zona dedicata ai pazienti privi di Covid-19.

### *Codici verdi "potenzialmente infetti"*

Quattro tende da campo sono state allestite all'esterno del pronto soccorso al fine di accogliere i pazienti con bassa priorità ma che all'area di pre-triage avevano presentato sintomi respiratori (vedi Fig.12). I pazienti potenzialmente infetti vengono quindi accolti in questa zona, dotata di un totale di 20 posti letto, dove sono assistiti da due medici, quattro infermieri e due dipendenti sanitari. Viene svolto inizialmente il tampone nasofaringeo per la Sars-Cov-2 al fine di confermare la presenza del virus; in caso contrario i pazienti vengono inviati verso la zona dell'ospedale dedicata alla cura della sintomatologia presentata. Grazie alla presenza all'interno delle tende di una radiologia dedicata, non sono necessari spostamenti di pazienti potenzialmente infetti, i quali potrebbero compromettere la salute di altri pazienti e del personale sanitario. I metodi RX e ultrasonografia consentono, nella maggior parte dei casi, di evitare scansioni TC toraciche. In caso fosse necessaria una TAC, i pazienti vengono accompagnati in una radiologia dedicata ai pazienti potenzialmente infetti e sita nel dipartimento d'emergenza.



*Figura 12: Tendon comunicanti dedicati ai codici verdi “potenzialmente infetti”*

A titolo esplicativo, viene riportato in Fig.13 il flowchart sviluppato per i pazienti classificati come “codici verdi potenzialmente infetti”, i quali presentano una  $\text{SatO}_2 > 94\%$  e  $\text{BPCO} > 90\%$ . In caso di deterioramento delle condizioni cliniche ( $\text{SatO}_2 < 90\%$ ,  $\text{BPCO} < 86\%$ ), viene avvisato il medico di PS per valutare un eventuale trasferimento verso la zona dedicata ai codici gialli/rossi potenzialmente infetti.



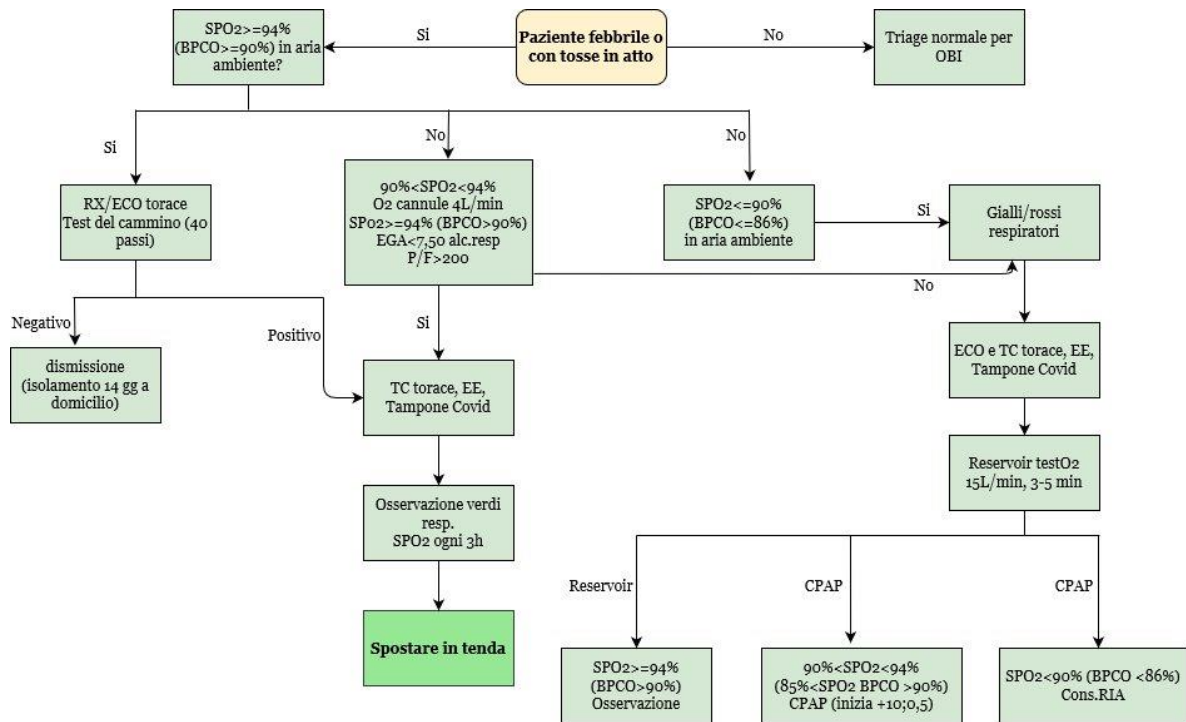


Figura 13: Flowchart riguardante i pazienti classificati come “codici verdi potenzialmente infetti”

### Codici gialli/rossi “senza Coronavirus”

I pazienti privi di febbre e sintomi respiratori con codice ad alta priorità (giallo o rosso) vengono ospitati all’interno delle sale dedicate ai codici principali e nella shock room. In caso fosse necessario eseguire una scansione TC, i pazienti vengono indirizzati verso la radiologia centrale, dedicata ai pazienti privi di Covid-19. Vengono comunque prese tutte le misure di precauzione necessarie al fine di evitare il diffondersi del virus; tutti i pazienti ed i medici curanti delle unità di Osservazione Breve Intensiva (OBI) e della shock room devono infatti indossare una mascherina chirurgica. Inoltre, per ogni visita vengono utilizzati una maschera FFP2 (Filtering Face Piece 2), un abito usa e getta e guanti.

### *Codici gialli/rossi “potenzialmente infetti”*

Al fine di dedicare ai pazienti con sintomi respiratori e/o febbre con codici ad alta priorità uno spazio adeguato, sono stati riorganizzati gli spazi interni del dipartimento d'emergenza. Ad essi sono state infatti riservate le aree precedentemente dedicate allo svolgimento degli esami ambulatoriali e al post-triage, per un totale di 15 posti letto. Per ciascun letto è presente un sistema di telemetria, un sistema per Ventilazione Meccanica Non Invasiva (NIMV) ed uno scanner ad ultrasuoni per la diagnosi precoce della malattia polmonare interstiziale. Nel caso in cui i pazienti necessitino di esami TC, essi vengono indirizzati verso la radiologia dedicata.

L'intera area dedicata a questa tipologia di pazienti è presidiata da 2 infermieri e 2 medici, presenti 24 ore al giorno, protetti con vestito speciale PPE (Protezione biologica superiore) al fine di garantire un livello di protezione individuale elevato.

### *Codici rossi “potenzialmente infetti ed intubati”*

I pazienti con insufficienza respiratoria molto grave possono necessitare, in alcuni casi, di un'intubazione orotracheale. Questa procedura comporta però un alto rischio di infezione. Per questo motivo, viene dedicata a questa tipologia di pazienti un'area di terapia intensiva, localizzata all'interno del dipartimento d'emergenza; in questa zona la procedura può essere eseguita in maniera sicura, evitando il rischio di contagio per altri pazienti e per gli operatori sanitari.

### 3.5. Test di laboratorio

L'impatto del focolaio di Sars-Cov-2 sulle attività di laboratorio è stato molto gravoso. La rapida raccolta e successiva analisi di campioni provenienti da pazienti sospettati di essere affetti da Covid-19 è infatti una priorità per la gestione clinica. È stata quindi implementata, sin dall'inizio della pandemia in Italia, la diagnosi molecolare per Covid-19 ed è stata poi avviata un'analisi dei possibili rischi connessi con questa tipologia di diagnosi. Sono state inoltre messe in atto procedure rigorose al fine di proteggere gli operatori e rendere più sicuri gli ambienti di analisi dei campioni.

Le principali questioni che sono state affrontate riguardano la posizione in cui implementare il “laboratorio Covid” e gli strumenti e tecnologie da utilizzare.

Per quanto riguarda la localizzazione del laboratorio, sono state inizialmente analizzate le aree occupate dal laboratorio diagnostico, ma nessuna camera era adeguata alle esigenze. Pertanto, sono state dedicate a questo percorso due sale separate: una dedicata alla vestizione del personale tecnico di laboratorio con dispositivi di protezione personale e l'altra dedicata invece all'analisi dei campioni, secondo le caratteristiche di un laboratorio di biosicurezza di livello 2, dotato di due armadi di biosicurezza BSL-2 e di tutte le altre attrezzature di necessarie.

La seconda problematica affrontata è stata la scelta del metodo PCR diagnostico da utilizzare. La disponibilità della sequenza del genoma di SARS-CoV-2 ha permesso lo sviluppo di un gran numero di analisi diverse, alcune di esse convalidate clinicamente, per cui sono state implementate inizialmente due linee basate su kit diagnostici concessi in licenza. Questa scelta è stata fatta con l'obiettivo di valutare l'affidabilità e la concordanza dei due metodi perché inizialmente è stato suggerito di testare i campioni con due sistemi diversi. Dopo una settimana, sono stati testati un gran numero di campioni con una concordanza del 100%, per cui è stato stabilito, anche in conformità con le linee guida regionali, di eseguire solamente una tipologia di test ma di mantenere attive entrambe le linee al fine di ampliare la produttività.

Tutto il personale è stato appositamente formato riguardo le precauzioni di sicurezza per la manipolazione di campioni clinici, che possono contenere materiali potenzialmente infettivi.

Le precauzioni standard includono l'igiene delle mani e l'uso di PPE, come cappotti da laboratorio, abiti, guanti, protezione degli occhi e maschera chirurgica o FFP2. Inizialmente sono state formate otto persone, ma il numero di persone qualificate è stato poi rapidamente allargato.

Il laboratorio è in funzione sette giorni a settimana, dalle 8:00 alle 20:00, e prevede tre fasce orarie di controllo campioni: la prima esecuzione avviene alle 9:00, la seconda alle 14:00 e l'ultima alle 19:00. Tramite questa tipologia di organizzazione, il laboratorio è in grado di comunicare i risultati del test entro 12 dalla ricezione del campione; i risultati vengono immediatamente comunicati al medico di pronto soccorso in modo tale che i pazienti vengano gestiti di conseguenza.

## 4. Esigenze cliniche

Le azioni descritte nel capitolo precedente han rappresentato una soluzione temporanea per la gestione dell'emergenza Covid-19, dal momento che Humanitas non era dotato di un dipartimento di malattie infettive. È stato quindi necessario inizialmente modificare l'organizzazione interna dell'ospedale, come evidenziato nel capitolo 3, al fine di individuare spazi da dedicare a pazienti Covid. Per questo sono stati utilizzati temporaneamente i blocchi operatori. Essi sono infatti generalmente composti da diverse zone, tra cui: locale per la preparazione preoperatoria del paziente, zona dedicata alla sala operatoria vera e propria e zona di risveglio, utilizzata nel momento in cui il paziente esce dalla sala operatoria e viene tenuto in osservazione fino al momento in cui termina l'effetto dell'anestesia. È in quest'ultima area che medici ed infermieri esercitano le funzioni di assistenza post-operatoria, quali il monitoraggio dei parametri e delle funzionalità vitali, la somministrazione dei farmaci e della terapia infusioneale, la sorveglianza dello stato di coscienza e la valutazione clinica globale del paziente neo-operato prima del suo ritorno nel reparto di degenza, dove continuerà il proprio percorso clinico. La zona risveglio è per questo dotata di:

- un letto dedicato per ogni postazione risveglio (sono eventualmente utilizzabili i piani dei letti operatori qualora si utilizzino sistemi a piani trasferibili);
- prese elettriche, prese per ossigenoterapia, aria compressa ed aspirazione;
- defibrillatore, ventilatori automatici e manuali;
- filtrazione ad alta efficienza con un minimo di 6 ricambi d'aria per ora;
- spazi adeguati ed illuminazione efficiente.

È stata proprio questa zona di risveglio quella dedicata ad ospitare temporaneamente i pazienti Covid-19 poiché possiede due caratteristiche fondamentali: è dotata dell'attacco ai gas medicali e presenta travi testa-letto sospese. Queste ultime permettono infatti di avere a disposizione uno spazio dietro al letto del paziente in modo tale che gli operatori sanitari abbiano tutto lo spazio necessario per procedere con un'eventuale intubazione.

Per tutti i mesi di emergenza, l'attività ordinaria è stata quindi notevolmente ridotta; le uniche tipologie di operazioni che sono state mantenute sono le operazioni per stroke e per la gestione di pazienti oncologici gravi. Ovviamente tutta questa ri-disposizione degli spazi ha permesso di gestire l'emergenza nelle prime fasi ma non può rappresentare una soluzione definitiva poiché è di fondamentale importanza la ripresa delle attività cliniche ordinarie.

Nasce quindi l'esigenza di individuare una zona ottimale in cui poter collocare i pazienti positivi al Covid-19, in modo tale da poterli separare fisicamente da quelli risultati negativi al test, liberando la zona del blocco operatorio e poter quindi riprendere le attività ordinarie.

Il primo step è stato quello di comprendere se fosse necessario realizzare un solo reparto per i pazienti positivi, realizzando quindi posti letto di terapia intensiva -che era quello che mancava in quel momento- oppure realizzare più reparti.

I driver che hanno influenzato la scelta sono stati:

- Necessità di duplicazione del Pronto Soccorso;
- Scelte fatte da altre realtà italiane;

È stata infatti subito chiara la necessità di prevedere un Pronto Soccorso dedicato esclusivamente ai pazienti Covid-19, dal momento che la scelta di mantenere un unico PS avrebbe aumentato la probabilità di contagio tra pazienti in maniera esponenziale.

Una volta aver stabilito ciò, è risultato necessario avere a disposizione anche un percorso post-PS separato, in modo tale da poter mantenere i flussi differenziati e non mettere a rischio la salute dei pazienti che si recano in ospedale per ragioni diverse dal virus in questione.

La scelta di predisporre più reparti è stata confermata anche dalle esperienze che stavano vivendo altre realtà italiane. Si era compresa l'inefficacia di disporre solamente di posti letti di Terapia Intensiva, poiché quando un paziente si reca in ospedale può presentare ulteriori problemi oltre il Covid-19, quindi è indispensabile avere a disposizione una struttura ospedaliera in grado di gestire il malato completamente.

Lo step successivo rappresenta la comprensione dello schema organizzativo-funzionale della nuova area dedicata ai pazienti Covid, e quindi sviluppare un possibile layout. Le aree necessarie alla completa gestione del paziente sono risultate essere le seguenti:

### *Pronto Soccorso*

La zona di accesso prevede l'arrivo del paziente deambulante o barellato nella Camera calda, corredata da una serie di ambienti destinati alla pubblica sicurezza, alla decontaminazione, alla prima presa in consegna di pazienti in condizioni di disagio.

Il triage è il primo contatto di tipo sanitario che il soggetto deambulante ha con l'organizzazione sanitaria, mentre il paziente barellato riceve le prime cure sulle Unità operative mobili di soccorso. La funzione di triage, di tipo infermieristico, provvede alla presa in carico degli utenti e definisce l'area specifica a cui verranno destinati gli utenti. Vi può essere la necessità di eseguire un "trriage avanzato" che richiede uno spazio opportunamente attrezzato e separato (anche box) per piccole prestazioni sanitarie (es. fare un prelievo).

Nella zona destinata al trattamento, gli ambienti per gli interventi sanitari sono da prevedere sulla base dei percorsi diagnostico-terapeutici e quindi sulla base delle necessità dei pazienti: dall'emergenza assoluta al regime di prestazione destinata ai codici verdi. Gli ambienti per l'emergenza sono destinati al trattamento del paziente in immediato pericolo di vita (codice rosso); il paziente critico deve avere accesso immediato, durante la giornata, ad un locale (shock-room) provvisto di tutte le attrezzature per gli interventi salvavita, di superficie tale da poter essere anche divisibile in due postazioni ed essere idoneo ad accogliere il team sanitario che sarà chiamato ad intervenire; si parla di superfici di circa 36-42 mq.

### *Degenza*

Se il paziente viene stabilizzato all'interno dell'area dedicata al PS, egli viene indirizzato all'area di degenza ospedaliera.

L'area di degenza deve essere strutturata in modo tale da garantire sicurezza, rispetto della privacy e comfort al paziente e agli operatori sanitari che vi prestano servizio. L'area deve essere conforme ai dettati normativi con particolare riferimento agli standard minimi strutturali, tecnologici ed organizzativi. Deve quindi prevedere facile accessibilità e veloce collegamento con i servizi maggiormente fruiti dai pazienti e dal personale e devono essere garantiti comfort di tipo alberghiero, con particolare cura nella scelta di colori e arredi adeguati alla tipologia di degenza.

Le stanze di degenza dedicate a pazienti Covid-19 devono inoltre prevedere una pressione negativa. Esse, definite anche stanze di isolamento, rappresentano una metodologia comune per il controllo delle infezioni e vengono utilizzate per “isolare” i pazienti che presentano malattia contagiose disperdibili nell’aria, come appunto il virus Sars-Cov-2. Al loro interno viene realizzata una pressione dell’aria inferiore rispetto a quella presente all’esterno della stanza; ciò significa che nel caso in cui venga aperto un passaggio che collega l’esterno con l’interno della camera, l’aria potenzialmente contaminata o altre particelle pericolose presenti all’interno della stanza non scorreranno verso le aree non contaminate. Al contrario, l’aria filtrata non contaminata presente all’esterno scorrerà verso l’interno della stanza. L’aria contaminata viene poi ricambiata all’interno della stanza ed espulsa tramite impianti di scarico dotati di filtri che “ripuliscono” il flusso prima di espellerlo al di fuori della struttura. Le camere sono singole, dotate di bagno interno e di un “filtro”, cioè un’anticamera che le separa dal corridoio del reparto, nel quale ai pazienti è vietato sostare: quest’area viene utilizzata dagli infermieri per depositare i pasti per i degenti. Una volta usciti gli infermieri, i pazienti possono recarsi nel filtro, con mascherina e guanti, e portare in camera i pasti. Una volta in camera, possono stare senza maschera e guanti. Se un paziente ha la necessità di comunicare è presente un interfono. Il personale medico, se non ci sono esigenze particolari, entra due volte al giorno. Le superfici vengono disinfettate due volte al giorno. Ovviamente non si possono ricevere visite. All’interno di queste stanze è possibile, se necessario, ricorrere a sistemi di ventilazione non invasiva come la ventilazione CPAP (vedi paragrafo 2.5).

### *Terapia Intensiva*

Nel momento in cui il paziente, in seguito al suo ingresso in Pronto Soccorso, assiste al peggioramento continuo delle sue funzioni vitali, viene inviato nell’area di Terapia Intensiva. La Terapia Intensiva è il reparto ospedaliero riservato al ricovero di pazienti in gravi condizioni di salute, che necessitano di trattamenti, monitoraggio e supporto continui, allo scopo di mantenere nella norma le funzioni vitali. È proprio questa tipologia di reparto che risulta essere di fondamentale importanza nella gestione dell’emergenza da Sars-Cov-2; i pazienti positivi al virus, infatti, nei casi peggiori presentano gravi difficoltà respiratorie e necessitano quindi di monitoraggio continuo e della presenza di tutti i dispositivi di trattamento.

### *Dipartimento servizi diagnostici*

Le unità operative di diagnostica per immagini svolgono indagini strumentali a fini diagnostici e di indirizzo terapeutico, utilizzando sorgenti esterne/interne di radiazioni ionizzanti ed altre tecniche di formazione dell'immagine. Risulta necessaria la presenza di locali adibiti alla diagnostica per immagini poiché le dettagliate immagini prodotte da queste procedure vengono utilizzate per informare il paziente ed il medico sull'organizzazione anatomica, il lavoro funzionale degli organi interni e la struttura del corpo del paziente. La diagnostica per immagini rappresenta uno strumento di grande importanza nella cura del paziente poiché permette l'identificazione precoce di potenziali problemi medici e di aiutare a prevenire la loro insorgenza.

### *Blocco operatorio*

Nel caso in cui si presentasse necessità di intervento, il paziente viene inviato verso il blocco operatorio. Esso è definito come un "Complesso architettonico-impiantistico a "bassa carica microbica" distinto e contiguo alle altre strutture ospedaliere indispensabile per effettuare interventi chirurgici"<sup>11</sup>.

Una volta aver stabilito cosa dovesse essere presente in questa zona è stato necessario dimensionarla. Per quanto riguarda il dimensionamento del Pronto Soccorso, in seguito ad un incontro svoltosi con la Direzione Sanitaria di Humanitas, è emerso che per l'analisi del flusso di accesso e presenza in PS sono stati utilizzati due criteri:

1. Numero di accessi respiratori nella popolazione pre-Covid per patologie di natura respiratoria; questo perché qualsiasi patologia respiratoria era da considerarsi potenzialmente un caso Covid-19, almeno fino all'esito del tampone del paziente.
2. Esperienza acquisita dalla prima ondata di Covid-19, al fine di ipotizzare il possibile numero di accessi respiratori in PS;

In aggiunta a ciò, viene considerato un possibile incremento degli accessi dovuti alla pandemia in corso.

A partire da questi dati, è emerso che nel periodo influenzale medio si presentano circa 20 accessi respiratori al giorno, di cui circa un terzo in 118 e codici maggiori, e di questi circa



il 20% viene poi ricoverato; viene quindi stimata una bassa affluenza in regime ambulatoriale, contro un'elevata necessità di spazi open-space.

Considerando che la pandemia di Covid-19 influenza notevolmente i dati, le percentuali sopra citate subiscono la seguente modifica:

La percentuale del numero di pazienti provenienti dal 118 diventa del 50% con un tasso di ricovero che può aumentare anche del 35%, arrivando quindi al 55%.

A partire quindi da queste informazioni è stata dichiarata la necessità di disporre di spazi open poiché i pazienti in attesa di ricovero saranno molti di più rispetto a quelli potenzialmente gestibili in regime ambulatoriale.

È inoltre da considerare il fatto che un paziente sdraiato occupa 4-5 volte i mq che occuperebbe un paziente seduto.

Ora, considerando anche i numeri provenienti dalla prima ondata, in cui si sono presentati picchi di 30 accessi al giorno per pazienti Covid-19, si può considerare una media di 30 accessi al giorno potenzialmente positivi. Di questi si ha poi il 50% in 118 e altrettanti barellati. Si considera poi una presenza media di 4-6 ore per i pazienti appiedati e di 8-10 ore per i pazienti barellati in attesa di ricovero.

Viene quindi introdotto il concetto di "Turnover", cioè il tempo necessario affinché un posto venga liberato e sia quindi reso disponibile per un altro paziente.

Nella prima ondata di Covid-19 si è presentata una degenza media di 11,2 giorni; questo numero è la media ricavata da pazienti che rimanevano all'interno dell'ospedale anche per mesi e di altri che invece nell'arco di 6-7 giorni vedevano risolti i propri problemi respiratori. Dal momento che ora si hanno a disposizione più conoscenze in merito al trattamento dei pazienti positivi e si può quindi ottimizzare il tempo in cui essi rimangono in ospedale, si può stimare una degenza media di circa 9,5 giorni.

Tramite considerazioni come quella sopra riportata, si è arrivati a concludere che l'area dedicata ai pazienti Covid-19 doveva ricoprire una superficie di circa 3000 mq.

## 5. Elaborazione di un tool

Data la forte pressione subita nella gestione dell'emergenza Covid-19 nei mesi di marzo-aprile, risulta necessario compiere azioni mirate al fine di ridurre la probabilità che la stessa situazione si verifichi nuovamente. Obiettivo finale di tutto questo è infatti la possibilità di gestire un'eventuale seconda ondata in maniera più efficace e senza mettere a rischio la sicurezza dei pazienti ricoverati in Humanitas per motivi diversi dal Covid-19.

È proprio per questo motivo che è nata l'esigenza di individuare una zona ottimale da dedicare ai pazienti risultati positivi al virus.

Vengono nei prossimi capitoli analizzate nel dettaglio tutte le fasi che, se eseguite in maniera consecutiva, portano alla realizzazione di un Emergency Center.

L'esigenza di realizzare un tool, cioè di mostrare nel modo più dettagliato possibile gli step necessari, deriva dal fatto che quest'analisi può essere modificata e riadattata a svariate situazioni di emergenza; non risulta quindi applicabile alla sola pandemia di Covid. Nel mese di marzo 2020 gli ospedali sono stati colti impreparati poiché non si sapeva cosa fare e come muoversi; per questo l'obiettivo del lavoro risulta quello di essere da esempio e, ancor meglio, un punto di partenza, per altre realtà in differenti situazioni.

L'analisi delle esigenze cliniche rappresenta una "pre-fase" che permette di apporre le fondamenta per le fasi seguenti. Solamente dopo aver individuato ciò che realmente serve per fronteggiare un'epidemia è possibile effettivamente iniziare a pianificare e progettare una soluzione.

Si passa poi ad un lavoro di vero e proprio hospital management, prendendo in considerazione ogni aspetto necessario alla realizzazione di una nuova area ospedaliera, in accordo con tutti gli aspetti essenziali a ricevere l'accreditamento regionale, che sia funzionale e realizzata in intervalli di tempo brevi.

Una volta aver identificato le esigenze in termini di tipologia dei reparti e relativo dimensionamento, ci si muove verso la prima fase, rappresentata dalla pianificazione della localizzazione della struttura. Nel caso in cui si voglia realizzare una struttura esterna è da individuare inoltre il materiale ottimale per la costruzione.

Avendo a disposizione diverse alternative per ogni sotto-problema e diversi criteri per valutarle, risulta ideale l'utilizzo di una metodologia definita Analytic Hierarchy Process (AHP) che permette di semplificare questi passaggi riconducendoli a dei semplici conti matematici. La metodologia e la relativa applicazione al caso pratico di Humanitas verranno presentati nei capitoli seguenti.

Una volta aver definito le caratteristiche relative alla "struttura esterna", è necessario spostare l'attenzione verso l'interno. Qui si presentano due necessità: la prima riguarda la comprensione della collocazione di ciascun elemento, contestualmente agli interventi che dovranno essere eseguiti dai tecnici impiantisti. È quindi necessaria una forte e stretta collaborazione con i tecnici al fine di pianificare la localizzazione delle centrali. Nel caso in cui la nuova area venga localizzata all'interno di un ospedale esistente, basterà eseguire l'attacco alle reti già presenti; nel caso invece in cui la struttura sia esternalizzata o autonoma, sarà necessario definire anche la localizzazione del materiale necessario per il corretto funzionamento del sistema. È questa la fase 2, definita progettazione medica; essa consiste quindi in un lavoro coordinato tra ingegneri clinici e tecnici e porta alla definizione, ad esempio, della tipologia di gas medicali per ogni zona, della tipologia delle prese elettriche in funzione del locale medico in considerazione, etc.

La fase 3, definita progettazione esecutiva, rappresenta l'ultimo ma non meno importante step. In esso fa da leader la figura dell'ingegnere clinico. È necessario, infatti, pianificare in dettaglio le esigenze dal punto di vista delle apparecchiature elettromedicali e dei dispositivi medici. In base alla tipologia di reparto in considerazione le esigenze saranno diverse per cui è necessaria una forte competenza in materia di Health Technology Management (HTM), definito come l'insieme delle attività e delle azioni necessarie per svolgere un uso sicuro, appropriato ed economico della tecnologia all'interno di un'organizzazione sanitaria<sup>12</sup>.

La fase di progettazione esecutiva è a sua volta composta da ulteriori sotto-fasi, definite in dettaglio nel capitolo 8.

La schematizzazione del processo è riportata in figura 14:



*Figura 14: Tool per la realizzazione di un Emergency Center*

## 6. Analytic Hierarchy Process

L'Analytic Hierarchy Process (AHP) è una procedura decisionale sviluppata dal matematico Thomas L. Saaty<sup>13</sup> negli anni Settanta. Essa è ampiamente utilizzata nei sistemi di gestione al fine di offrire soluzioni ai problemi decisionali basati su più criteri, valutando le diverse alternative e creando un ordinamento finale delle stesse. La metodologia si basa infatti sulla scomposizione del problema di partenza in una serie di componenti al fine di analizzarle singolarmente e semplificare quindi l'analisi decisionale.

L'Analytic Hierarchy Process consente quindi alla persona incaricata di prendere una decisione e di trovare la soluzione più adatta alle necessità; esso permette di risolvere anche i problemi decisionali più complessi, che comprendono molti fattori e richiedono quindi la considerazione di molteplici informazioni, facendo in modo che la scelta si basi su tutte le dimensioni che caratterizzano il problema, e non si focalizzi solo su un unico criterio.

In particolare, l'AHP si basa sulle fasi seguenti:

1. scomposizione del problema in una gerarchia di sotto-problemi;
2. confronto a coppie tra gli elementi considerati (sotto-criteri, criteri ed alternative);
3. ricomposizione della gerarchia al fine di individuare l'alternativa che possiede l'importanza maggiore relativamente ai criteri considerati.

Il punto di partenza è quindi la definizione dell'obiettivo da raggiungere (Goal), proseguendo con la definizione dei criteri ed eventuali sotto criteri ed infine con la definizione delle diverse alternative disponibili. La semplicità di tale metodologia si basa quindi sull'analisi a coppie delle diverse alternative sulla base dei diversi criteri definiti nella fase iniziale; il problema gerarchizzato viene così trattato con maggior efficacia ed efficienza poiché si beneficia della proprietà di indipendenza tra elementi posti allo stesso livello della gerarchia e allo stesso tempo della proprietà di dipendenza tra elementi di un livello rispetto al livello superiore.

La scomposizione del problema è rappresentata in Fig. 15

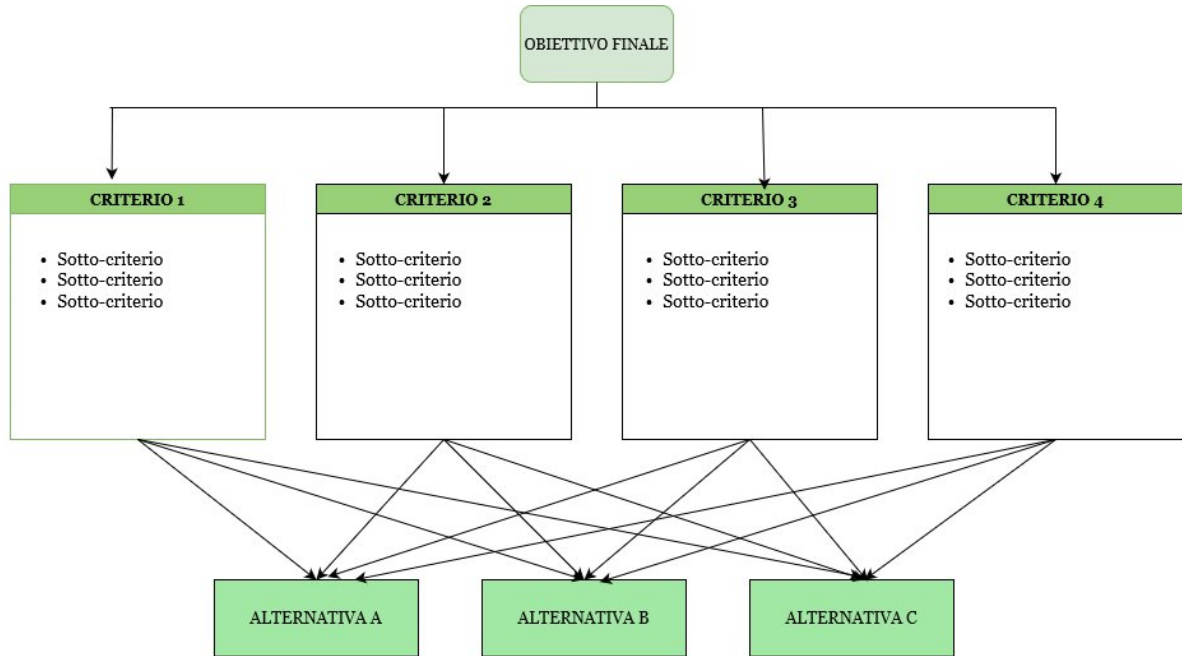


Figura 15: Scomposizione del problema tramite metodologia AHP

Gli step appena descritti possono essere compresi al meglio considerando l'esempio seguente. Si consideri un individuo che voglia acquistare un nuovo pc portatile e decida di basare la sua scelta sull'utilizzo della metodologia AHP. I criteri fondamentali su cui egli basa la sua scelta sono il costo del portatile, le sue performance e il suo design. Come evidenziato in precedenza, la prima azione da compiere è quella di scomporre il problema decisionale nei sotto-problemi che lo compongono, e di organizzare questi ultimi in una gerarchia. Si avranno quindi i seguenti livelli:

- livello 1: obiettivo finale → selezionare il pc portatile più adatto alle necessità dell'individuo;
- livello 2: criteri considerati per la scelta → costo, performance, design;
- livello 3: alternative a disposizione → pc A, pc B, pc C;

Una volta aver individuato e strutturato la gerarchia, il decisore deve eseguire dei confronti a coppie tra gli elementi appartenenti a ciascun livello gerarchico in modo tale da stabilirne l'importanza rispetto agli elementi presenti al livello gerarchicamente superiore. Si

assegnerà quindi un valore numerico ai criteri decisionali in base alla loro importanza rispetto all'obiettivo finale da raggiungere ed in seguito si assegna un valore a ciascuna alternativa relativo all'importanza che essa ha rispetto a ciascun criterio decisionale. Si arriverà così alla situazione in cui ogni criterio decisionale sarà associato ad un numero relativo al contributo fornito al raggiungimento dell'obiettivo finale, ed ogni alternativa relativa ai pc portatili possiederà un valore relativo al criterio "costo", uno relativo al criterio "performance" ed uno relativo al criterio "design". A questo punto sarà possibile sintetizzare i punteggi ottenuti per ogni elemento della gerarchia in modo tale da ottenere dei valori complessivi da associare ad ogni alternativa; l'individuo sarà in questo modo in grado di ordinare le tre alternative sulla base del valore ad esse assegnato e scegliere il pc a cui è associato punteggio maggiore.

### 6.1. Descrizione della metodologia

Prima di passare alla descrizione degli step matematici della metodologia, vengono descritti i quattro assiomi su cui si basa la teoria AHP<sup>14</sup>.

Sia  $U$  un insieme finito di  $n$  alternative e sia  $C$  un insieme di proprietà o attributi rispetto a cui vengono valutati gli elementi di  $U$ . Definiamo gli elementi di  $C$  come "criteri". Si esegua poi una comparazione binaria tra gli elementi di  $U$  rispetto ai criteri contenuti in  $C$ .

Sia " $>$ " una relazione binaria che rappresenta l'istanza "preferito rispetto a" sulla base di un criterio appartenente a  $C$ .

Sia " $\sim$ " una relazione binaria che indica invece la relazione di indifferenza tra due elementi rispetto ad un criterio appartenente a  $C$ .

Da qui, dati due elementi  $A_i, A_j$  appartenenti ad  $A$ , potranno valere le relazioni:  $A_i > A_j$  oppure  $A_j > A_i$  oppure ancora  $A_i \sim A_j$ , per ogni criterio  $c$  appartenente a  $C$ .

#### 1. Assioma della reciprocità

Come sarà descritto più avanti in questo paragrafo, la teoria AHP prevede che tutti gli elementi ricavati dalla scomposizione della gerarchia, vengano confrontati tra loro a coppie. L'assioma della reciprocità stabilisce un'importante relazione che deve essere sempre valida nei confronti a coppie: definita  $P_c(A_i, A_j)$  il confronto tra l'elemento  $A_i$  e l'elemento  $A_j$  rispetto al criterio  $c$  sulla base dell'importanza che  $i$  ha rispetto a  $j$ , vale la relazione seguente:

Per tutti gli  $A_i, A_j$  appartenenti ad  $U$  e  $c$  appartenenti a  $C$ , si ha:

$$P_c(A_i, A_j) = 1/P_c(A_j, A_i)$$

Quindi se ad esempio si ha che  $i$  è 7 volte più importante di  $j$ , allora l'importanza di  $j$  rispetto a  $i$  è pari ad  $1/7$ .

## 2. Assioma dell'omogeneità

L'assioma dell'omogeneità stabilisce che gli elementi appartenenti ad uno stesso livello gerarchico non differiscano eccessivamente tra loro in modo tale da poter essere confrontabili e sia possibile eseguire una valutazione su di essi. Come sottolineò anche Saaty infatti “non si possono comparare tra loro un granello di sabbia ed un'arancia sulla base della loro dimensione; quando la disparità è così alta, è necessario posizionare gli elementi in due cluster separati contenenti elementi di grandezza comparabile, oppure posizionarli in livelli differenti della scala gerarchica”<sup>14</sup>.

## 3. Assioma dell'indipendenza dei giudizi

I giudizi posti durante il confronto a coppie tra elementi appartenenti allo stesso livello gerarchico devono essere indipendenti dai fattori presenti al livello gerarchico inferiore rispetto a quello considerato.

## 4. Assioma delle aspettative

Questo assioma si basa sull'affermazione che l'individuo incaricato di prendere una decisione deve assicurarsi che tutte le sue idee siano adeguatamente rappresentate dal modello; tutte le alternative, criteri ed aspettative (implicite ed esplicite) possono e devono essere rappresentate nella gerarchia al fine di ottenere il risultato desiderato.

Per quanto riguarda gli step matematici necessari per l'ottenimento della scelta ideale, il primo passo da fare è quello di scomporre il problema decisionale in più livelli, definendo i criteri ed eventuali sotto-criteri che influenzeranno la scelta e le diverse alternative disponibili.

Una volta aver individuato i diversi criteri e definito le possibili alternative si passa all'assegnazione dei pesi e delle priorità. Il decisore assegna quindi un valore numerico ad ogni criterio, il quale rappresenta l'impatto che esso ha sulla decisione finale. I criteri



vengono quindi confrontati a coppie assegnando un punteggio di importanza relativa rispetto all'altro. Lo stesso procedimento viene poi eseguito confrontando a coppie le alternative disponibili sulla base dei diversi criteri. Questo confronto a coppie permette di facilitare il giudizio del decisore, il quale è in grado di determinare quale dei due elementi considerati è più importante rispetto a una certa proprietà ed in quale misura. Vengono quindi inizialmente comparati tra loro i criteri al fine di stabilire la loro importanza rispetto all'obiettivo finale, poi vengono analizzati eventuali sotto-criteri con lo scopo di stabilirne l'importanza rispetto a ciascun criterio ed infine si valutano le alternative al fine di stabilire la loro importanza rispetto a ciascun sotto-criterio.

Si ottengono così i valori risultanti dai confronti a coppie (criterio "a" rispetto criterio "b", alternativa "1" rispetto alternativa "2" sulla base del criterio "a" etc.). L'intensità attribuita ai valori si calcola tramite la scala semantica Saaty, composta da numeri assoluti dall'1 al 9, che consente di assegnare un punteggio ad un fattore rispetto ad un altro e quindi di creare corrispondenza tra valori numerici e giudizi verbali (vedi Fig. 16)<sup>15</sup>.

SCALA	VALUTAZIONE NUMERICA	RECIPROCO
Estremamente preferito	9	1/9
Da molto forte ad estremamente preferito	8	1/8
Molto fortemente preferito	7	1/7
Da forte a molto fortemente preferito	6	1/6
Fortemente preferito	5	1/5
Da moderato a fortemente preferito	4	1/4
Moderatamente preferito	3	1/3
Da equo a moderatamente preferito	2	1/2
Equamente preferito	1	1

Figura 16: Scala Saaty (Fonte: 'Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) to select and prioritize projects in portfolio' di Ricardo Verga<sup>16</sup>)

Viene definito  $a_{ij}$  il risultato del confronto a coppie tra l'elemento  $i$  e l'elemento  $j$ . Una volta ottenuti tutti i valori  $a_{ij}$  dati dal confronto a coppie tra elementi, si potrà riempire una matrice quadrata  $n \times n$ , dove  $n$  è pari al numero di elementi confrontati appartenenti allo stesso livello gerarchico. La matrice viene anche definita “matrice dei confronti a coppie”

I valori  $a_{ij}$  devono inoltre soddisfare le seguenti relazioni:

- $a_{ij}=1/a_{ji}$ , dove  $a_{ij}$  rappresenta l'importanza di  $i$  rispetto a  $j$ , come definito dall'assioma della reciprocità.
- $a_{ii}=1$ , l'importanza di un elemento comparato a sé stesso è uguale ad uno, quindi i valori che compongono la diagonale principale sono tutti pari ad 1.

Si otterrà quindi una matrice simile a quella rappresentata in Fig.17:

		j			
		A	B	C	D
i	A	1	2	3	4
	B	1/2	1	5	6
	C	1/3	1/5	1	7
	D	1/4	1/6	1/7	1

Figura 17: Esempio di matrice dei confronti a coppie

Il numero di confronti da eseguire è quindi pari a:  $n(n-1) / 2$ , dove  $n$  rappresenta il numero di elementi da confrontare.

Dal momento che i giudizi dati dal decisore nel comparare elementi appartenenti allo stesso livello della gerarchia non sono sempre perfettamente coerenti tra loro, può capitare di trovarsi di fronte a matrici dei confronti a coppie non consistenti. Per questo motivo è sempre necessario eseguire una valutazione della consistenza. Con il termine “consistenza” si intende quella situazione in cui i valori di importanza assegnati agli elementi in fase di valutazione si giustificano tra loro. Affinchè ciò valga, deve valere la relazione di transitività<sup>17</sup>:

sia  $A=[a_{ij}]$  la matrice ottenuta dai confronti tra gli elementi  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , dove  $a_{ij}$  rappresenta l'importanza di  $a_i$  rispetto a  $a_j$ ,  $a_{ik}$  rappresenta l'importanza di  $a_i$  rispetto a  $a_k$  ed

$a_{kj}$  l'importanza di  $a_k$  rispetto ad  $a_j$ , allora la matrice  $A$  è definita consistente quando vale la relazione:

$$a_{ij} = a_{ik} \cdot a_{kj}, \text{ per ogni valore di } i \text{ e } j$$

ad esempio, se  $A1=2A2$  e  $A1=3A3$ , la matrice  $A$  sarà consistente se  $2A2=3A3$  oppure  $A2=(2/3)A3$ .

È spesso difficile raggiungere a pieno la consistenza, per cui spesso vengono accettati anche bassi livelli di inconsistenza dal momento che essi non compromettono la validità del risultato ottenuto. Nel caso in cui l'inconsistenza raggiunga livelli troppo elevati si ritiene invece necessaria una revisione della gerarchia costruita e dei giudizi effettuati.

Nel caso in cui la matrice  $A$  sia perfettamente consistente, è possibile rappresentare i suoi elementi  $a_{ij}$  come il rapporto tra i pesi, per cui si avrà  $a_{ij} = w_i/w_j$ . Si ottiene quindi una matrice del tipo:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix}$$

Ogni riga della matrice  $A$  risulta quindi pari ad un multiplo costante della prima riga: ciò è equivalente alla moltiplicazione della prima riga di  $A$  per una costante. Moltiplicando la matrice per il vettore dei pesi  $w$  si ottiene:

$$A \cdot w = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} \cdot w_1 + \frac{w_1}{w_2} \cdot w_2 + \dots + \frac{w_1}{w_n} \cdot w_n \\ \frac{w_2}{w_1} \cdot w_1 + \frac{w_2}{w_2} \cdot w_2 + \dots + \frac{w_2}{w_n} \cdot w_n \\ \frac{w_1}{w_1} \cdot w_1 + \frac{w_1}{w_2} \cdot w_2 + \dots + \frac{w_1}{w_n} \cdot w_n \\ \frac{w_n}{w_1} \cdot w_1 + \frac{w_n}{w_2} \cdot w_2 + \dots + \frac{w_n}{w_n} \cdot w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ nw_n \end{bmatrix} = n \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_n \end{bmatrix} = n \cdot w$$

Vale quindi che  $A \cdot w = n \cdot w$ , il che significa che  $n$  è autovalore della matrice  $A$  e  $w$  è l'autovettore corrispondente.

Da qui, la determinazione delle priorità degli elementi si può tradurre in un problema basato sul calcolo degli autovalori e autovettori della matrice  $A$ : l'autovettore normalizzato  $w^*$  della matrice  $A$  definisce le priorità degli elementi confrontati a coppie. Dal momento che la matrice  $A$  è perfettamente consistente, il suo rango (numero massimo di colonne o righe linearmente indipendenti) è pari a 1 e tutti i suoi autovalori, tranne uno, sono pari a zero. Dato che la somma degli autovalori di una matrice positiva è uguale alla somma degli elementi presenti sulla diagonale principale, l'autovalore non nullo di  $A$  è pari ad  $n$ . L'autovalore maggiore della matrice  $A$  risulta quindi essere pari ad  $n$ , per cui si avrà:

$$\lambda_{\max} = n$$

sulla base di ciò, è possibile ricavare un indice, definito Consistency Index, misura della consistenza di una matrice:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

se il valore di  $CI$  è pari a zero allora la matrice è consistente; al contrario, se  $\lambda_{\max}$  devia da  $n$  allora la matrice non è perfettamente consistente.

Dal momento che, come evidenziato in precedenza, spesso nell'AHP non si raggiunge la perfetta consistenza, viene calcolato il Consistency Ratio (CR), ottenuto confrontando il Consistency Index (CI) con il Random Consistency Index (RI); quest'ultimo è un numero risultato dalla media degli indici di consistenza di un elevato numero di matrici:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Si considera accettabile il livello di consistenza solo se il valore di CR è minore del 10% <sup>14</sup>.

Il valore del Random Consistency Index viene stimato dalla media di un elevato numero di matrici; ad esempio, considerando 500 matrici che vado da un ordine di 1 ad un massimo di 10, si ottiene la tabella seguente<sup>14</sup>:

*Tabella 3: Valori relativi al Random Consistency Index*

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Random consistency index (R.I.)	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Nel caso generico in cui la matrice A dei confronti a coppie non sia perfettamente consistente, gli elementi  $a_{ij}$  non sono equivalenti al rapporto  $w_i/w_j$  per cui l'equazione:

$$A \cdot w = n \cdot w$$

non è più valida. Al fine di ottenere il vettore dei pesi  $w$  è richiesta la risoluzione dell'equazione:

$$A \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w$$

L'autovettore principale normalizzato  $w^*$  indica le priorità degli elementi confrontati e viene calcolato dividendo ogni elemento di  $w$  per la somma degli elementi che lo compongono. Questa operazione può essere svolta tramite utilizzo di un sistema di supporto computerizzato.

## 6.2. Metodi approssimati

Attraverso l'utilizzo del metodo approssimato è possibile giungere ad una soluzione simile a quella ottenuta dal metodo esatto tramite utilizzo di operazioni elementari. Esso richiede inizialmente la normalizzazione della matrice dei confronti a coppie A, sommando le colonne di essa e dividendo poi tutti gli elementi della matrice per la somma della colonna in cui essi si trovano. In seguito, viene calcolato il priority vector nel seguente modo: ogni elemento del vettore delle priorità rappresenta la media di ogni riga della matrice A. L'autovalore principale viene poi calcolato moltiplicando ogni elemento del priority vector

per il numero risultante dalla somma delle colonne della matrice; vengono infine sommati questi valori tra loro.

Per quanto riguarda la valutazione della consistenza, si rimanda a quanto detto nel paragrafo 6.1.

Si riporta di seguito un esempio di applicazione del metodo sopra descritto.

Si supponga di aver già realizzato i confronti a coppie e di aver ottenuto quindi la matrice seguente:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1 & 1/4 \\ 1/3 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

Lo step successivo consiste nella somma degli elementi di ciascuna colonna tramite la formula:

$$C_{ij} = \sum_{i=1}^n C_{ij}$$

Si avrà quindi:

- prima colonna  $\rightarrow 11/6$ ;
- seconda colonna  $\rightarrow 7$ ;
- terza colonna  $\rightarrow 17/4$ ;

Si passa poi alla normalizzazione della matrice dividendo ciascun elemento per la somma degli elementi della colonna a cui appartiene, tramite la formula:

$$X_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^n C_{ij}}$$

La matrice in questione diventa quindi:

$$A_{\text{norm}} = \begin{bmatrix} 6/11 & 2/7 & 12/17 \\ 3/11 & 1/7 & 1/17 \\ 2/11 & 4/7 & 4/17 \end{bmatrix}$$

A questo punto si calcola la media di ciascuna riga:

$$1/3 \begin{bmatrix} 6/11 & 2/7 & 12/17 \\ 3/11 & 1/7 & 1/17 \\ 2/11 & 4/7 & 4/17 \end{bmatrix} = [0,51 \quad 0,16 \quad 0,33]^T$$

Il vettore ricavato rappresenta il priority vector.

Viene ora calcolato l'autovalore principale moltiplicando gli elementi del priority vector per la somma delle colonne e sommando poi i valori così ottenuti:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{11}{6} (0,51) + 7 (0,16) + \frac{17}{4} (0,33) = 3,45$$

Nell'esempio riportato, la matrice non è perfettamente consistente dal momento che  $\lambda_{\text{max}}$  non risulta pari a 3, ma essa si avvicina alla consistenza poiché l'indice di consistenza risulta pari a 0,22, e quindi si avvicina allo zero.

### 6.3. Utilizzo dell'AHP tramite Microsoft Excel

L'utilizzo di Microsoft Excel risulta particolarmente utile nell'applicazione dell'AHP dal momento che esso prevede la realizzazione di matrici ed i fogli elettronici permettono facilmente di creare tabelle e di elaborare dati.

Tramite Excel è possibile, infatti, creare la matrice dei confronti a coppie, normalizzarla, ottenere il giudizio di priorità e valutare infine la consistenza dei risultati ottenuti.

Di seguito vengono riportati nello specifico i passaggi necessari, utilizzando un esempio numerico tratto dal lavoro di Khwanruthai Bunruamkaew<sup>18</sup>.

Una volta aver effettuato i confronti a coppie tra i criteri definiti, si passa alla creazione della matrice dei confronti a coppie, la quale risulta essere una matrice triangolare inferiore. Per popolare la matrice si utilizzano i reciproci dei valori della diagonale superiore; se  $a_{ij}$  è un elemento appartenente alla riga  $i$  ed alla colonna  $j$  della matrice, allora i valori della diagonale

inferiore si ottengono dalla formula:  $a_{ji}=1/a_{ij}$ . Questa operazione viene eseguita con Excel nel seguente modo:

	A	B	C	D	E	F
1	Factor	C1	C2	C3	C4	C5
2	C1	1.00	7.00	3.00	1.00	1.00
3	C2	=1/7	1.00	0.14	0.20	0.20
4	C3	=1/3	=1/0.14	1.00	1.00	1.00
5	C4	=1/1	=1/0.20	=1/1	1.00	1.00
6	C5	=1/1	=1/0.20	=1/1	=1/1	1.00

Figura 18: Creazione della matrice dei confronti a coppie con Excel<sup>18</sup>

Si passa quindi alla popolazione vera e propria della matrice dei confronti a coppie ed alla sua normalizzazione, eseguendo la somma degli elementi di ciascuna colonna:

	A	B	C	D	E	F
1	Factor	C1	C2	C3	C4	C5
2	C1	1.00	7.00	3.00	1.00	1.00
3	C2	0.14	1.00	0.14	0.20	0.20
4	C3	0.33	7.00	1.00	1.00	1.00
5	C4	1.00	5.00	1.00	1.00	1.00
6	C5	1.00	5.00	1.00	1.00	1.00
7	Total	3.48	25.00	6.14	4.20	4.20

Figura 19: Somma degli elementi di ciascuna colonna della matrice<sup>18</sup>

Si passa ora alla normalizzazione effettiva ed in seguito viene calcolata la somma degli elementi appartenenti a ciascuna riga della matrice normalizzata. Il passo successivo consiste nel calcolo della media di ciascuna riga al fine di ottenere il priority vector; i passaggi da svolgere tramite Excel sono indicati in Fig.20.



	A	B	C	D	E	F	G	H
6	C5	1.00	5.00	1.00	1.00	1.00		=Sum (B10:F10)
7	Total	3.48	25.00	6.14	4.20	4.20		
8								=AVERAGE(G10/5)
9	Factor	C1	C2	C3	C4	C5	Total	Average
10	C1	0.29	0.28	0.49	0.24	0.24	1.53	0.31
11	C2	0.04	0.04	0.02	0.05	0.05	0.20	0.04
12	C3	0.10	0.28	0.16	0.24	0.24	1.01	0.20
13	C4	0.29	0.20	0.16	0.24	0.24	1.13	0.23
14	C5	0.29	0.20	0.16	0.24	0.24	1.13	0.23

Formulas shown in the image:

- $=B6/B7$
- $=C6/C7$
- Highest average score

Figura 20: Passaggi per eseguire la normalizzazione con Excel<sup>18</sup>

Si passa quindi al terzo step, ossia all'analisi di consistenza, al fine di valutare se i giudizi espressi sono consistenti o meno. Per fare ciò, è possibile utilizzare la funzione Excel `MATR.PRODOTTO()` che permette di eseguire prodotti matriciali; si tratta in questo caso di un prodotto di un vettore riga (appartenente alla matrice dei confronti a coppie) per un vettore colonna (priority vector). Dividendo poi questo valore per il peso del criterio sulla riga considerata è possibile valutare la misura di consistenza.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
9	Factor	C1	C2	C3	C4	C5	Total	Average	Consistency Measure
10	C1	0.29	0.28	0.49	0.24	0.24	1.53	0.31	5.37
11	C2	0.04	0.04	0.02	0.05	0.05	0.20	0.04	5.08
12	C3	0.10	0.28	0.16	0.24	0.24	1.01	0.20	5.10
13	C4	0.29	0.20	0.16	0.24	0.24	1.13	0.23	5.15
14	C5	0.29	0.20	0.16	0.24	0.24	1.13	0.23	5.15
15	Total	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			CI= 0.04
16									RI= 1.12
									C.Ratio 0.04
									RI is provided by AHP (see slide 16)
									$=MMULT(B2:F2,H10:H14)/H10$
									$=MMULT(B3:F3,H10:H14)/H11$
									$=(AVERAGE(H10:H14)-5)/4$
									$=I15/I16$
									CR = CI / RI

Figura 21: Analisi di consistenza tramite Excel<sup>18</sup>

## 7. Applicazione dell'AHP

In questa parte del lavoro si propone un'applicazione dell'approccio decisionale multicriterio presentato nel capitolo precedente. In particolare, la metodologia AHP viene qui utilizzata al fine di descrivere in maniera analitica tutte le scelte fatte in fase di progettazione e realizzazione del Covid Center ubicato presso il Building 9 di Humanitas.

L'Analytic Hierarchy Process, come evidenziato nel capitolo 6, permette infatti di valutare, tramite criteri qualitativi e quantitativi, le varie alternative disponibili sulla base di criteri fissati a priori. Tramite questo processo è quindi possibile considerare il problema decisionale nel suo complesso.

È stato scelto di utilizzare questa metodologia dal momento che essa è intuitiva e consente di riesaminare facilmente l'intero processo decisionale. Risulta inoltre essere particolarmente utile in epoca Covid-19, dal momento che è possibile adattare il modello al periodo storico considerato semplicemente modificando i pesi assegnati ai criteri di valutazione.

Al fine di gestire al meglio le varie tematiche affrontate in fase di progettazione, viene suddiviso il problema decisionale in vari sotto-problemi, analizzati nel dettaglio nei seguenti paragrafi.

### 7.1. AHP applicato alla scelta della collocazione dei pazienti Covid

La prima fase dell'emergenza Covid-19 è stata gestita affidando ai pazienti positivi al virus, l'area normalmente dedicata al blocco operatorio ed alla terapia intensiva, come descritto nel capitolo 4.

Come evidenziato più volte, questa non può rappresentare una scelta definitiva poiché l'ospedale ha la necessità di riprendere l'ordinaria attività clinica.

La prima necessità emersa è stata quindi quella di individuare una nuova area da dedicare ai pazienti Covid, in modo tale da liberare le zone occupate da questa tipologia di pazienti.

Le due alternative disponibili erano:

- Individuare un'area apposita all'interno dell'ospedale (A1);
- Spostarsi al di fuori dell'ospedale, realizzando una struttura esterna (A2).

Al fine di individuare la scelta più opportuna, le due alternative sono state valutate sulla base dei seguenti criteri:

C1: Qualità delle cure

C2: Sostenibilità economica

C3: Tempistiche

La qualità delle cure (C1) rappresenta l'impatto che la scelta ha sui pazienti ricoverati all'interno dell'ospedale in termini di sicurezza. Rimanendo all'interno della struttura, si produrrebbe un duplice effetto; in primis, l'ospedale verrebbe "sporcato" a causa della presenza del virus e questo metterebbe in grave rischio la salute dei pazienti negativi ricoverati e dell'intero personale sanitario. Ovviamente, come evidenziato nel capitolo precedente, la scelta sarebbe accompagnata da un'organizzazione basata sulla separazione dei flussi tra pazienti positivi e quelli negativi, ma questo comporterebbe comunque la presenza del virus all'interno delle mura dell'edificio, per cui una percentuale di rischio non verrebbe eliminata. Il secondo elemento che deve essere preso in considerazione è il fatto che rimanendo all'interno della struttura, i pazienti Covid-19 non potrebbero essere gestiti nel migliore dei modi. Questo perché la presenza di numerosi angoli ciechi e mura non permetterebbe al personale infermieristico di monitorare costantemente i parametri dei pazienti e le loro condizioni di salute. Il paziente non sarebbe quindi in questo caso in sicurezza.

La scelta di esternalizzazione permette di eliminare questi fattori, confinando in un'area dedicata il virus e progettando gli spazi in maniera ottimale, preferendo un'organizzazione

basata su open-space e sulla presenza di diverse GUI infermieristiche in modo tale da avere costantemente sotto controllo i pazienti.

Per quanto riguarda la sostenibilità economica (C2), in seguito ad un colloquio svoltosi con la Direzione Sanitaria, è emerso che il blocco delle attività ordinarie sperimentato nella prima fase di gestione dell'emergenza ha portato un'elevata e grave perdita di produttività; si stima infatti una perdita del 65% della produzione mensile. Questo significa che nei 3 mesi della prima ondata da Covid-19 Humanitas ha subito una perdita economica corrispondente a circa 3 mesi di lavoro. È immediato notare come questa condizione non sia sostenibile. Ovviamente anche la realizzazione di una struttura esterna da dedicare esclusivamente ai pazienti Covid porta con sé numeri costi legati alla realizzazione, alle apparecchiature medicali e al materiale necessario per il suo funzionamento ed infine dovuto all'assunzione di risorse umane (infermieri, medici, etc..) necessarie per lo svolgimento in sicurezza di tutte le attività. Dal punto di vista economico è stato però stimato che la perdita economica data dal fermo di tutte le attività ordinarie non è comparabile ai costi che si sarebbero eventualmente sostenuti per la realizzazione di una struttura esterna; essa risulta infatti essere pari al quintuplo rispetto all'investimento necessario per la realizzazione di una nuova struttura. Lo sbilancio risulta essere estremamente forte.

Il terzo criterio preso in considerazione rappresenta le tempistiche legate alle due scelte. L'alternativa 1 risulta essere preferibile sotto questo punto di vista, riducendo in maniera notevole i tempi di intervento; questo è dovuto al fatto che già nella prima fase dell'emergenza i pazienti venivano ricoverati all'interno dell'ospedale. Ovviamente sarebbe necessario un intervallo di tempo legato ad una riorganizzazione interna per permettere un'effettiva differenziazione dei flussi, ma esso non è paragonabile al tempo necessario alla realizzazione di una nuova struttura, dotata di tutto il necessario per monitorare ed intervenire su pazienti affetti da Covid, partendo da zero.

Utilizzando il metodo approssimato si procede quindi con il confronto a coppie tra le alternative sulla base dei criteri definiti.

- Confronto tra alternative rispetto al criterio “qualità delle cure”

Come evidenziato in precedenza, l’esternalizzazione dei pazienti affetti da Covid-19 permette di mantenere un elevato standard di cure, isolando il virus in una struttura non interna all’ospedale. Questa alternativa risulta quindi essere estremamente preferibile rispetto alla prima.

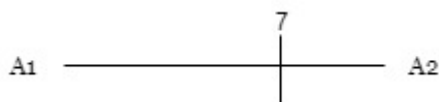


Figura 22: Confronto tra alternative sulla base del criterio “qualità delle cure”, collocazione

Si ottiene quindi la seguente matrice dei confronti a coppie:

A	1	0,14
	7	1

Si procede quindi con la somma degli elementi di ciascuna colonna fino ad arrivare alla matrice normalizzata seguente:

Anorm	0,13	0,13
	0,88	0,88

Viene inoltre calcolata la media per ciascuna riga; questo procedimento permette di ottenere il priority vector PV1:

PV1	0,13
	0,88

Dal vettore si conclude quindi che la migliore alternativa, sulla base del criterio “qualità delle cure”, è la seconda, cioè l’esternalizzazione della struttura.

Al fine di valutare la consistenza de passaggi eseguiti, si sfrutta la funzione Excel `MATR.PRODOTTO()`, moltiplicando tra loro il vettore riga rappresentate la somma degli elementi in ogni colonna della matrice A con il vettore colonna rappresentate gli elementi

del priority vector. Solo se il valore risultante risulta essere pari all'autovalore massimo, si avrà consistenza:

$$\begin{bmatrix} 8 & 1,14 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,13 \\ 0,88 \end{bmatrix} = 2$$

L'indice di consistenza, calcolato come nel paragrafo 6.1, è pari a zero, pertanto, la matrice risulta essere perfettamente consistente.

- Confronto tra alternative sulla base del criterio "sostenibilità economica"

Dal momento che l'obiettivo è la minimizzazione dell'impatto economico, vengono assegnati punteggi più alti alle alternative che minimizzano i costi. In particolare, come evidenziato in precedenza, l'alternativa 2 risulta essere molto preferibile rispetto alla prima:

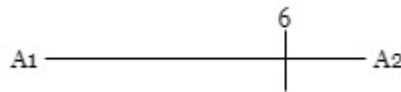


Figura 23: Confronto tra alternative sulla base del criterio "sostenibilità economica", collocazione

Si ottiene quindi la seguente matrice dei confronti a coppie:

A	1	0,17
	6	1

Si procede poi con la normalizzazione fino ad ottenere il priority vector PV2:

PV2	0,14
	0,86

Dall'analisi di consistenza si ottiene:

$$\begin{bmatrix} 7 & 1,17 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,14 \\ 0,86 \end{bmatrix} = 2$$

Per cui la matrice A risulta essere perfettamente consistente.

- Confronto tra alternative sulla base del criterio “tempistiche”

Sulla base del criterio relativo al tempo di intervento necessario, l’alternativa 1 risulta essere conveniente:

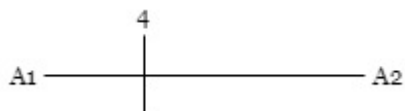


Figura 24: Confronto tra alternative sulla base del criterio “tempistiche”, collocazione

La matrice dei confronti a coppie risulta in questo caso essere:

A	1	4
	0,25	1

Con un priority vector PV3:

PV3	0,8
	0,2

Come si può notare da PV3, l’alternativa 1 risulta essere quella ottimale dal punto di vista delle tempistiche.

- Confronti a coppie dei criteri considerati

Si passa ora all’assegnazione dei pesi ai criteri che hanno influenzato la decisione finale. Per fare ciò sono stati effettuati dei colloqui con l’Ingegnere Morgera e con il Project Manager Claudio Speranza al fine di comprendere effettivamente quali siano stati i driver decisivi. È risultato che il criterio “qualità delle cure” ed il criterio “sostenibilità economica” hanno avuto lo stesso peso nell’influenzare la scelta. Il criterio riguardante la tempistica è risultato invece essere meno rilevante. Questo perché, nel momento in cui è stato necessario prendere una decisione, Humanitas ha preferito dare la priorità alla sicurezza dei pazienti, aumentando la probabilità di fornire le migliori cure piuttosto che mettere a repentaglio la loro salute. Allo stesso modo, una perdita economica come quella subita nei primi mesi della pandemia

non avrebbe permesso all'ospedale di continuare a svolgere le sue attività in regime ordinario.

I valori risultanti dai confronti a coppie sono:

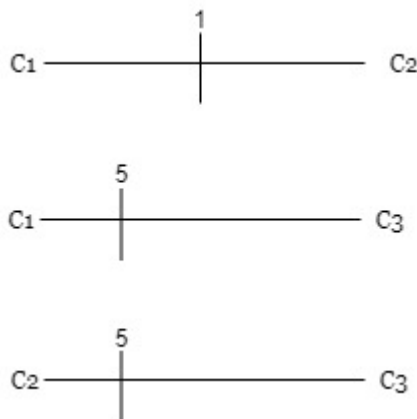


Figura 25: Confronti a coppie tra criteri circa la collocazione

La matrice dei confronti a coppie A risulta essere:

A	1	1	5
	1	1	5
	0,2	0,2	1

Con un priority vector PV4 pari a:

PV4	0,45
	0,45
	0,09

Anche in questo caso la matrice A risulta essere perfettamente consistente dal momento che si ottiene un valore di  $\lambda_{max}$  pari a 3.

Il prossimo ed ultimo step è rappresentato dal prodotto tra la matrice B contenente i priority vector PV1, PV2, PV3 con il priority vector dei criteri PV4, eseguito sfruttando la funzione Excel MATR.PRODOTTO():

B	0,13	0,14	0,8	X	PV4	0,45	=
	0,88	0,86	0,2			0,45	
						0,09	



=

PV	0,19
	0,80

Dal vettore finale delle priorità si può quindi concludere che l'alternativa 2 (esternalizzazione della struttura) risulta quella ottimale sulla base dei criteri stabiliti a priori.

Una volta aver definito che la nuova area dedicata ai pazienti Covid-19 era da realizzare esternamente alla struttura ospedaliera principale, sono sorti due ulteriori problemi, come si può notare in Fig. 26:



Figura 26: Schematizzazione delle decisioni necessarie per la realizzazione di una struttura esterna

## 7.2. AHP applicato alla scelta della tipologia costruttiva

Una volta aver stabilito che la soluzione migliore è quella di confinare il virus in un'area esterna rispetto al corpo principale dell'ospedale, lo step successivo è stato quello di individuare la tipologia costruttiva ottimale.

È necessario sottolineare che nelle prime fasi dell'emergenza Covid-19, diversi ospedali hanno intrapreso azioni al fine di creare strutture che ospitassero posti letto di terapia intensiva con l'obiettivo di fronteggiare la continua crescita di casi positivi; si assiste quindi a scelte progettuali molto diverse. Allo stesso tempo la scelta del materiale più idoneo è resa ancora più difficile dall'impossibilità di movimenti all'interno della regione e tra regioni, per cui la scelta è stata effettuata a scatola chiusa. Un ulteriore elemento che ha aggravato

ulteriormente la situazione è stata la scarsa disponibilità di materiali dal momento che, come sottolineato, diverse aziende ospedaliere avevano intrapreso la strada di realizzare nuove strutture.

Tra le varie possibilità, le alternative selezionate da Humanitas son state:

- Tendone (A1);
- Prefabbricato metallico (A2);
- Costruzione a secco, ossia carpenteria metallica leggera (A3);

Da un'intervista con l'Ing. Morgera e con il PM Claudio Speranza è emerso che i criteri su cui è stata basata la scelta sono stati:

C1: Durabilità

C2: Tempistiche

C3: Costi

C4: Smontabilità

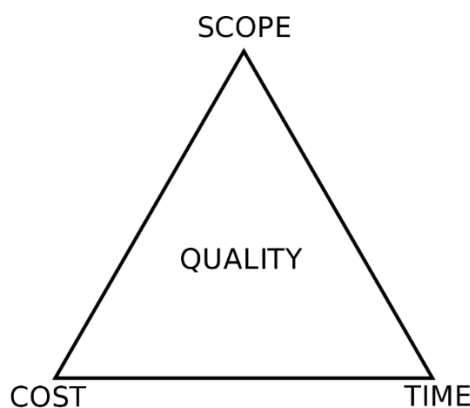
Nelle prime fasi del progetto l'azione più immediata da intraprendere era quella di riprodurre le scelte fatte da altre realtà ospedaliere; si stava infatti assistendo in quel periodo all'impresa realizzata dall'ospedale San Raffaele di Milano <sup>c</sup>, il quale aveva creato una tensostruttura che ricoprì l'ex campo sportivo dell'università Vita-Salute San Raffaele.

Più passava il tempo e più diventava comprensibile che la situazione di emergenza non sarebbe durata solamente due o tre mesi, ma si sarebbe anzi protratta più a lungo. Andò quindi a sfumare l'idea di realizzare una struttura "precaria", ponendo maggiore attenzione sulle alternative che permettessero una durabilità maggiore. Il Management ospedaliero fece infatti la richiesta di ricercare un possibile provvisorio a lungo termine, eventualmente con la possibilità di smontaggio e rimontaggio sulla base delle necessità. È proprio per questo motivo che l'attenzione ricadde sul possibile utilizzo di moduli prefabbricati realizzati "su misura", per cui con differenze sostanziali rispetto alla tipologia standard.

Di fondamentale importanza erano anche le tempistiche del progetto. Venne stabilito come obiettivo per la realizzazione un intervallo di circa 11 settimane. Per questo motivo il tema dello smontaggio rimase presente ma non fu comunque una priorità.

Parallelamente a ciò, la normativa in quel periodo permetteva di andare in deroga con alcuni aspetti normativi al fine di velocizzare il più possibile le azioni per contrastare il diffondersi del virus. Aspetti legati ai vigili del fuoco, ai rapporti aero-illuminanti (RAI), ai rapporti di ventilazione e al rumore potevano quindi essere tralasciati nell'ottica di realizzare una soluzione temporanea. Questo perché si può ipotizzare che nel breve termine la probabilità che accada un evento avverso e/o sismico sia approssimabile allo zero. Tutte queste considerazioni persero però di importanza nel momento in cui si iniziò a ragionare su una soluzione a lungo termine e che permettesse all'ospedale di non farsi trovare impreparato in caso di una possibile seconda ondata di Covid-19.

Si passa quindi alla considerazione del criterio costi (C3). Come evidenziato più volte dall'Ing. Morgera, essi risultano essere strettamente legati al periodo storico considerato. Si consideri il triangolo di project management rappresentato in Fig.27, in cui ogni lato rappresenta un vincolo per il progetto e ciascun vincolo non può essere modificato senza impattare sugli altri due. Il vincolo tempo indica il tempo disponibile al fine di completare il progetto in questione, il vincolo costo indica le risorse a disposizione mentre il vincolo scopo/qualità indica ciò che deve essere fatto al fine di raggiungere i risultati previsti



*Figura 27: Triangolo di project management*

In un periodo di crisi come quello in analisi, il classico triangolo di project management viene però distorto, per cui si rende necessaria una tra le seguenti scelte:

- Scelta economica e rapida;
- Scelta di qualità e costosa;

Diviene quindi fondamentale una definizione delle priorità. Il costo è un criterio che deve essere sempre preso in considerazione, dal momento che la scelta non può prescindere dalla sostenibilità economica aziendale, ma avrà in questo caso un peso minore rispetto a qualità e tempistiche.

Utilizzando il metodo approssimato si procede quindi con il confronto a coppie tra le alternative sulla base dei criteri ora definiti.

I valori che verranno utilizzati di seguito sono stati ricavati da interviste svolte all'Ingegnere Morgera ed al Project Manager Claudio Speranza.

- Confronto tra alternative sulla base del criterio "durabilità"

Considerando come durabilità ottimale di una struttura un intervallo di tempo di circa 50 anni -che è il massimo periodo di tempo in cui una struttura può durare senza presentare problematiche edilizie- i valori di durabilità delle alternative a disposizione sono stati calcolati come percentuale rispetto all'alternativa ideale. Si è così ottenuto che sia il modulo prefabbricato che la costruzione a secco prevedono una durabilità assimilabile alla situazione ideale; numericamente si può parlare di un 95% rispetto ad una normale costruzione. La durabilità di una tensostruttura risulta al contrario essere molto limitata, arrivando ad un 5% circa rispetto ad una costruzione "umida", che utilizza quindi malta e cemento.

Le alternative A2 e A3 risultano essere quindi ugualmente preferibili ed entrambe sono estremamente preferibili rispetto ad un tendone, come si può notare in Fig. 28:

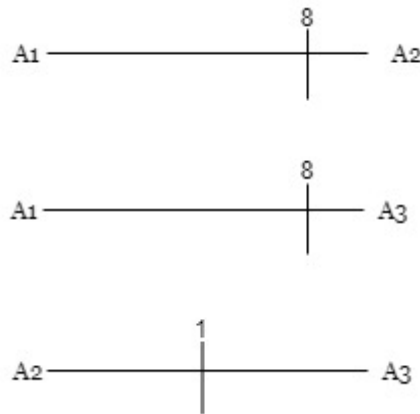


Figura 28: Confronto tra alternative sulla base del criterio “durabilità”, tipologia costruttiva

La matrice dei confronti a coppie A risulta essere:

A	1,0	0,1	0,1
	8,0	1,0	1,0
	8,0	1,0	1,0

Il priority vector PV1 risulta:

PV1	0,06
	0,47
	0,47

Sulla base del criterio “durabilità” le alternative A2 e A3 risultano essere eque, come evidenziato in precedenza.

La matrice A risulta inoltre essere perfettamente consistente.

- Confronto tra alternative sulla base del criterio “tempistiche”

Facendo sempre riferimento ad una costruzione di tipo tradizionale si può stimare un guadagno del 95% circa in termini di tempo in caso di tensostruttura, del 75% in caso di utilizzo di un prefabbricato metallico ed infine del 50% nel caso di costruzione a secco. Questi valori sono dati dal fatto che la carpenteria metallica leggera prevede una percentuale di “lavorazioni sporche” al fine di essere eseguita, portando quindi ad un incremento dei tempi di realizzazione; l’utilizzo di moduli prefabbricati riduce notevolmente la necessità di questa tipologia di lavorazioni per cui il vantaggio in termini di tempo diventa considerevole;

infine il tendone il quale, nonostante sia componibile in tempi praticamente nulli, prevede anch'esso una percentuali di lavorazioni alla base in modo tale che la struttura possa reggere.

Queste misure non prendono però in considerazione l'epoca pandemica in questione. Le tempistiche nel momento in cui è stato necessario prendere questa decisione, erano dettate dalla situazione di mercato. Comunemente, infatti, il mercato edile vede un'enorme richiesta di moduli in prefabbricato per cui i tempi di approvvigionamento in condizioni normali risultano essere maggiori rispetto alle altre alternative; essi presentano infatti periodi di realizzazione più elevati rispetto, ad esempio, alla costruzione a secco. Si può quindi concludere che, considerata l'epoca in analisi, l'utilizzo di tendoni risulta essere leggermente preferibile rispetto ai moduli in prefabbricato, che risultano a loro volta essere preferibili rispetto alla carpenteria metallica leggera.

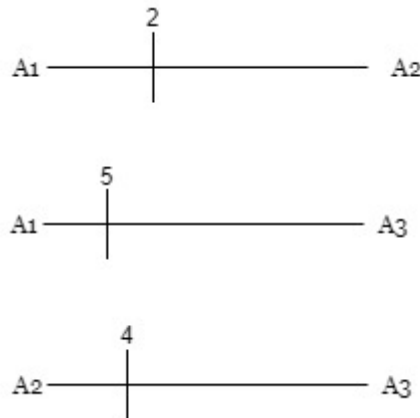


Figura 29: Confronto tra alternative sulla base del criterio "tempistiche", tipologia costruttiva

La matrice A risulta:

A	1,00	2,00	5,00
	0,50	1,00	4,00
	0,20	0,25	1,00

Di conseguenza, il priority vector PV2 sarà:

PV2	0,57
	0,33
	0,10

Anche in questo caso la consistenza è verificata.

- Confronto tra alternative sulla base del criterio “costo”

I costi relativi all’opzione a secco e al modulo prefabbricato risultano essere comparabili. Questo deriva dal fatto che i moduli che potenzialmente sarebbero stati utilizzati nella realizzazione del nuovo Emergency Center avrebbero dovuto essere realizzati ad hoc. I moduli tradizionali presentano infatti un’altezza pari a 2,70 metri ma la struttura in progettazione necessitava di un’altezza di almeno 3,50 metri per permettere il passaggio delle intercapedini a soffitto. È proprio per questo motivo, dunque, che la costruzione a secco prevede un costo di 2500 € al metro quadrato e i moduli prefabbricati un costo pari a 2300 €/mq<sup>2</sup> (i moduli in prefabbricato tradizionali si collocano al di sotto dei 2000 €/mq<sup>2</sup>). La realizzazione di un tendone risulta invece essere la scelta preferibile in termini economici poiché presenta un prezzo al metro quadro inferiore.

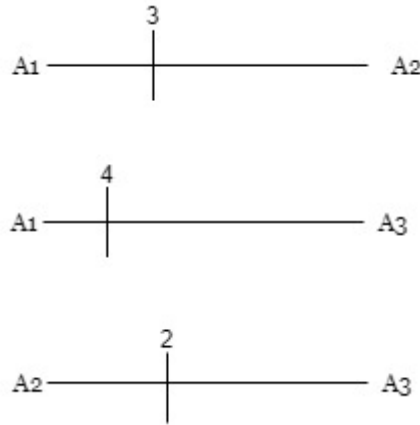


Figura 30: Confronto tra alternative sulla base del criterio “costo”, tipologia costruttiva

La matrice dei confronti a coppie risulta:

A	1,00	3,00	4,00
	0,33	1,00	2,00
	0,25	0,50	1,00

Il vettore delle priorità PV3 risulta essere:

PV3	0,62
	0,24
	0,14

La matrice A risulta inoltre essere perfettamente consistente.

- Confronto tra alternative sulla base del criterio “smontabilità”

Per quanto riguarda i livelli di smontabilità, i moduli in prefabbricato, se progettati in maniera ottimale possono raggiungere un recupero elevato, fino ad arrivare ad un 90%. La carpenteria metallica leggera risulta invece essere limitata da questo punto di vista, arrivando ad un massimo di 50% di smontabilità. Il tendone, con un valore del 95%, risulta essere l’opzione con i livelli di smontabilità più elevati. Il motivo per cui non si raggiunge il 100% è legato al fatto che anche la tensostruttura necessita di una parte di fondamenta su cui poggiare e per l’ancoraggio a terra per cui rimane una parte di struttura non recuperabile.

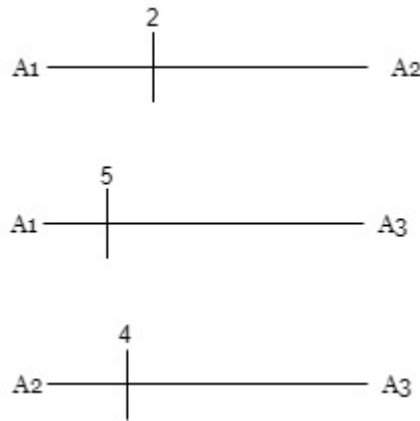


Figura 31: Confronto tra alternative sulla base del criterio “smontabilità”, tipologia costruttiva

La matrice dei confronti a coppie A risulta essere:

A	1,00	2,00	5,00
	0,50	1,00	4,00
	0,20	0,25	1,00

Il vettore PV4 risulta:



PV4	0,57
	0,33
	0,1

Tramite il calcolo dell'indice di consistenza si conclude inoltre che la matrice A è perfettamente consistente.

- Confronti a coppie dei criteri considerati

Si passa ora al confronto a coppie tra i criteri in questione, al fine di stabilire quali abbiano effettivamente influenzato la scelta circa la tipologia costruttiva dell'Emergency Center.

Come evidenziato in precedenza, i vincoli che erano stati imposti al progetto riguardavano la durabilità nel tempo della struttura, caratteristica fondamentale al fine di non farsi trovare impreparati ad una possibile seconda ondata, e l'intervallo di tempo necessario al fine di concludere il progetto; esso doveva infatti coprire un intervallo di circa 11 settimane.

Per questo motivo, il criterio riguardante la possibile smontabilità della struttura ha perso di importanza rispetto ai due citati.

Anche per quanto riguarda il costo, è stato sottolineato che in periodi di emergenza come quello caratterizzato dalla presenza di Covid-19, esso risulta possedere meno importanza rispetto invece a tempistiche e qualità della struttura finale.

Si può quindi concludere che i pesi, dati dai confronti a coppie tra criteri, risultano essere:

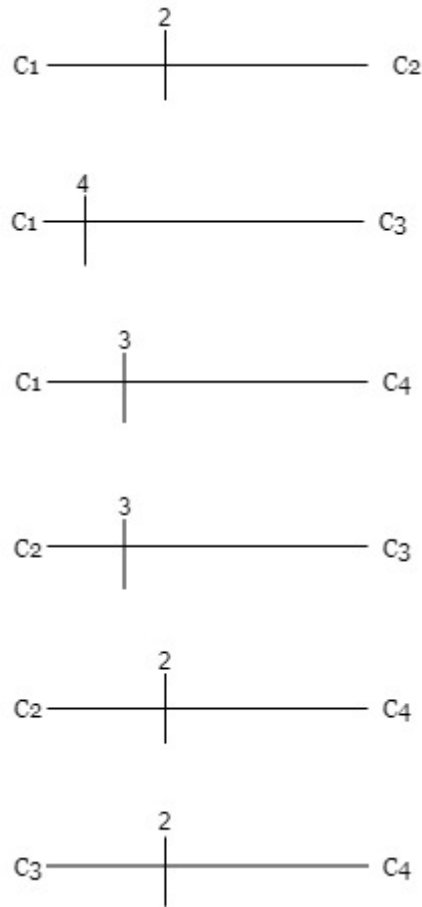


Figura 32: Confronti a coppie dei criteri circa la tipologia costruttiva

La matrice A risulta:

A	1,00	2,00	4,00	3,00
	0,50	1,00	3,00	2,00
	0,25	0,33	1,00	2,00
	0,33	0,50	0,50	1,00

Per cui il vettore priorità dei criteri PV5 risulta essere:

PV5	0,46
	0,28
	0,14
	0,12

Sulla base di tutto ciò, al fine di individuare la scelta più ottimale riguardo la tipologia costruttiva, è possibile sfruttare la funzione Excel MATR.PRODOTTO() ed eseguire la seguente moltiplicazione:

B	0,06	0,57	0,62	0,57
	0,47	0,33	0,24	0,33
	0,47	0,10	0,14	0,10

 $\times$ 

PV5	0,46
	0,28
	0,14
	0,12

 $=$ 
  
  
 $=$ 

PV	0,34
	0,38
	0,28

Come si può dedurre dai valori sopra riportati, sulla base delle considerazioni fatte, la scelta di utilizzare moduli in prefabbricato risulta essere quella più efficace.

#### 7.2.1. Caso Humanitas Gavazzeni, Bergamo

Come evidenziato in precedenza, uno dei vantaggi relativi alla metodologia AHP risiede nel fatto di poter essere adattabile a situazioni differenti. Viene quindi riportata a titolo esplicativo, una considerazione relativa all'Emergency Center dedicato ai pazienti Covid in fase di realizzazione presso l'ospedale Humanitas Gavazzeni, di Bergamo. È infatti interessante notare che, a parità di alternative e di criteri selezionati, l'alternativa ottimale risulta essere differente. Questo perché, nel momento in cui è stato deciso di realizzare una struttura esternalizzata anche presso la sede di Bergamo, ci si trovava in una situazione completamente differente rispetto a quella presente nei mesi di marzo-aprile. Non trattandosi in questo caso di una situazione di emergenza come quella vissuta nei mesi della prima ondata di Covid-19, i pesi affidati alle alternative ed ai criteri risultano essere diversi.

In particolare, si avranno valori differenti sulla base dei criteri "tempistiche (C2)" e "costo (C3)" dipendendo essi anche dall'epoca in considerazione. I pesi assegnati ai criteri durabilità (C1) e smontabilità (C4) risultano invece analoghi.

- Confronto tra alternative sulla base del criterio “tempistiche”, caso Bergamo

Come evidenziato in precedenza, comunemente il mercato edile subisce una notevole richiesta di moduli in prefabbricato. Questa considerazione porta ad una difficoltà di approvvigionamento di questo materiale, con un aumento delle tempistiche legate a questa alternativa. Un ulteriore fattore da prendere in considerazione riguarda le tempistiche di realizzazione dei moduli in prefabbricato, nettamente superiori rispetto a quelle legate alla carpenteria metallica leggera; per questo motivo, data la scarsità di materiale sul mercato, la scelta di utilizzare moduli in prefabbricato comporta un aumento dei tempi di attesa legati anche alla realizzazione dello stesso.

La nuova matrice dei confronti a coppie risulta essere quindi:

<b>A-BG</b>	1,00	3,00	2,00
	0,33	1,00	0,33
	0,50	3,00	1,00

Con un vettore delle priorità:

<b>PV2-BG</b>	0,57
	0,10
	0,33

Si può in questo caso notare un’inversione delle priorità relative alle alternative A2 ed A3 dovuta alla diversa epoca storica in considerazione.

- Confronto tra alternative sulla base del criterio “costo”, caso Bergamo

Il costo legato ad una certa tipologia di materiale è necessariamente legato alla sua facilità/difficoltà di approvvigionamento. Data la difficoltà di reperire moduli in prefabbricato in una situazione di non-emergenza, il costo legato a questa alternativa risulta aumentato di una piccola percentuale. Per questo motivo, la nuova matrice dei confronti a coppie risulta essere:

<b>A-BG</b>	1,00	4,00	3,00
	0,25	1,00	0,50
	0,33	2,00	1,00

Il vettore delle nuove priorità risultante sarà:

PV3-BG	0,62
	0,14
	0,24

- Confronti a coppie dei criteri considerati, caso Bergamo

Anche i pesi assegnati ai criteri in fase di scelta risultano modificati. In particolare, in una fase di non-emergenza, acquisisce importanza il criterio relativo ai costi di realizzazione, a discapito del criterio relativo alle tempistiche. Questo perché, non essendo in un periodo di crisi, non vi è la necessità di provvedere alla realizzazione di posti letto in maniera rapida. Da qui, venendo meno il criterio relativo al tempo, il triangolo di project management raffigurato in Fig.27, torna alla sua configurazione normale, in cui anche il criterio costo ha una sua rilevanza.

La matrice dei confronti a coppie tra criteri risulta quindi essere:

A-BG	1,00	4,00	2,00	5,00
	0,25	1,00	0,33	3,00
	0,50	3,00	1,00	4,00
	0,20	0,33	0,25	1,00

Il vettore PV5 viene modificato in:

PV5-BG	0,48
	0,14
	0,30
	0,07

Da qui, utilizzando la funzione MATR.PRODOTTO(), si ottiene il vettore finale delle priorità:

PV-BG	0,33
	0,30
	0,35

I valori riportati evidenziano quindi come, modificando il periodo storico in questione, la priorità relativa alle alternative risulta differente. In particolare, in una situazione di non-emergenza, risulta ottimale realizzare la struttura tramite utilizzo di una costruzione a secco.

### 7.3. AHP applicato alla scelta della localizzazione della struttura

Come evidenziato dalla Fig.26, l'ulteriore problema da risolvere per la progettazione dell'Emergency Center era la scelta della localizzazione su cui doveva nascere la nuova struttura.

Dal momento che il dimensionamento era già stato eseguito sulla base delle necessità cliniche, sono stati esclusi tutti quei luoghi che non avrebbero permesso di ospitare una struttura di circa 3000 mq.

Da ciò, risultarono disponibili 3 diverse aree:

- Area superiore al Parcheggio P10, interrato (A1);
- Parcheggio dipendenti P13 (A2);
- Area su cui sorge la Cartiera (A3);

Da interviste eseguite con l'Ing.Morgera e con il PM Speranza è risultato che la scelta è stata presa sulla base di 3 criteri:

C1: Vicinanza con l'ospedale principale

C2: Difficoltà di realizzazione

C3: Vincoli ambientali

La vicinanza con l'ospedale principale permette infatti una gestione ottimale dei flussi, sia per quanto riguarda il personale sanitario che per la movimentazione del materiale necessario. Realizzando infatti una struttura nei pressi dell'edificio principale, è possibile sfruttare alcuni spazi già esistenti eliminando la necessità di realizzarne di nuovi, impiegando ulteriore tempo e risorse. È questo il caso, ad esempio, del deposito merci presente presso il Building 2. Anche per quanto riguarda tutta la parte impiantistica, la vicinanza con l'ospedale principale avrebbe permesso di eseguire attacchi alle centrali esistenti, snellendo notevolmente il lavoro dei tecnici impiantisti. Lo stesso discorso può essere esteso anche ad un possibile utilizzo del sistema fognario che serve gli edifici della struttura principale. Anche per quanto riguarda i flussi umani questa risulta una caratteristica fondamentale. Nel caso di eventuali guasti o problemi, la vicinanza con l'ospedale permetterebbe infatti di

eseguire interventi tecnici nell'immediato, riducendo la probabilità di mettere a rischio la salute dei pazienti.

La difficoltà di realizzazione è invece legata ad eventuali interventi necessari al fine di rendere l'area prescelta edificabile. Le alternative a disposizione sono collocate infatti in aree completamente diverse tra loro, che sono quindi legate ad operazioni differenti. È importante sottolineare che l'eventuale necessità di provvedere a adeguamenti ambientali e/o strutturali porta con sé un ulteriore aumento delle tempistiche necessarie alla realizzazione del progetto.

Per quanto riguarda invece la presenza di vincoli ambientali, essa si riferisce ad una "situazione giuridica di sostanziale non modificabilità dei luoghi, che si traduce in una serie di limitazioni sulle facoltà dei proprietari, possessori e/o detentori di tali beni" <sup>d</sup>.

I vincoli di tipo ambientale possono essere vincoli paesaggistici, diretti cioè alla conservazione di valori naturali, estetici e storico-culturali di particolare rilevanza all'interno di aree omogenee nelle quali questi valori hanno un percepibile significato identitario del territorio; vincoli naturalistici rivolti alla tutela di valori naturalistici, ecologici, geologici, biologici ed estetici ma anche, in diverse ipotesi (si pensi essenzialmente ai parchi), antropologici e storico-culturali; vincoli idrogeologici, finalizzati ad assicurare un buon regime delle acque e specialmente a preservare la stabilità del territorio, di fronte ai pericoli di inondazioni, frane, smottamenti e altri eventi dannosi, o ancora vincoli legati alla presenza di sostanze tossiche e nocive per la salute.

Utilizzando il metodo approssimato si procede con il confronto a coppie tra le alternative sulla base dei criteri ora definiti.

- Confronti tra alternative sulla base del criterio "vicinanza con l'ospedale principale"

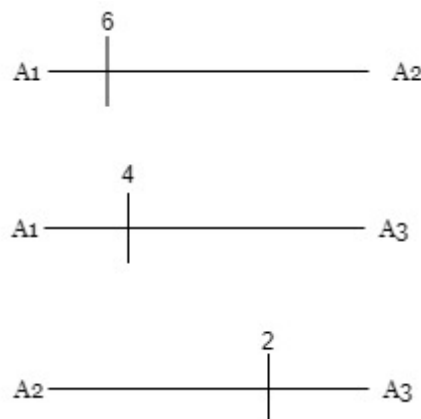
Al fine di attribuire i pesi dati dal confronto a coppie, è necessario innanzitutto definire le distanze in linea d'aria tra l'ospedale principale – in particolare con il Building 2, sede dello scarico merci e del servizio di Ingegneria Clinica, nonché nel Pronto Soccorso e dei magazzini- e le possibili alternative. I valori ottenuti evidenziano un'estrema vicinanza

dell'ospedale con il parcheggio P10 (A1) ed una lontananza del parcheggio P13 (A2); la cartiera (A3) si colloca nel mezzo. In particolare, si ha:

- Distanza con parcheggio P10: circa 110 metri;
- Distanza con parcheggio P13: circa 250 metri;
- Distanza con cartiera: circa 220 metri.

È necessario prendere in considerazione un ulteriore fattore: il parcheggio P10, oltre a rappresentare l'alternativa più vicina al corpo principale dell'ospedale, è collocato all'interno del perimetro di Humanitas; questo significa che eventuali spostamenti da e verso la nuova struttura non implicherebbero movimenti su strade urbane. Al contrario, la cartiera, nonostante non rappresenti l'alternativa più lontana, non è collocata all'interno del perimetro di Humanitas, per cui renderebbe necessari anche attraversamenti stradali. Infine, il parcheggio P13 risulta essere collocato all'interno del perimetro di Humanitas ma non è realizzato interamente su terreno di proprietà dell'ospedale; una parte di esso sorge infatti su terreno comunale. Questo porta con sé la necessità di provvedere ad accordi con il comune di Rozzano nel caso in cui venisse scelto questo parcheggio per la localizzazione della nuova struttura.

I confronti a coppie risultano quindi essere:



*Figura 33: Confronti tra alternative sulla base del criterio "vicinanza con l'ospedale principale", localizzazione della struttura*



La matrice A risulta:

A	1,00	6,00	4,00
	0,17	1,00	0,50
	0,25	2,00	1,00

Il vettore delle priorità è:

PV1	0,70
	0,11
	0,19

- Confronto tra alternative sulla base del criterio “difficoltà di realizzazione”

Come sottolineato in precedenza, le aree considerate presentano interventi necessari diversificati. Riguardo all’area sovrastante il parcheggio P10, esso presenta alte difficoltà di realizzazione dal momento che la struttura sarebbe dovuta sorgere al di sopra di un parcheggio interrato. Doveva quindi essere adattata tutta la zona dal punto di vista sismico, rinforzando il parcheggio in modo tale che risultasse strutturalmente adeguato.

Questo limite viene eliminato dall’eventuale scelta del parcheggio P13 dal momento che le lavorazioni e adeguamenti necessari in questo caso risultano essere legati solamente alla realizzazione delle fondamenta della struttura. Questa alternativa presenta quindi minori difficoltà legate alla realizzazione.

Infine, la cartiera, che è collocata in un’area troppo acerba per fare valutazioni effettive; essa porta con sé quindi una serie di analisi al fine di comprendere come gestire la zona dal punto di vista strutturale. Per questo motivo presenta al momento alte difficoltà realizzative.

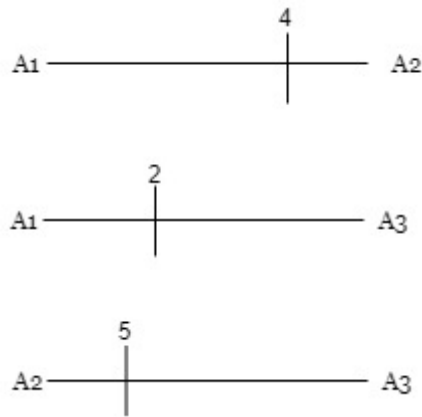


Figura 34: Confronto tra alternative sulla base del criterio “difficoltà di realizzazione”, localizzazione della struttura

La matrice dei confronti a coppie risulta essere:

A	1,00	0,25	2,00
	4,00	1,00	5,00
	0,50	0,20	1,00

Ed il priority vector PV2:

PV2	0,20
	0,68
	0,12

- Confronto tra alternative sulla base del criterio “vincoli ambientali”

Data la definizione di vincolo ambientale, la realizzazione dell’Emergency Center sull’area dedicata al P13 presenta un vincolo di tipo naturalistico, data la vicinanza con il Parco Agricolo Sud di Milano. Una possibile estensione dell’area dedicata al parcheggio sarebbe stata quindi impedita da esso. Anche l’area in cui sorge la cartiera presenta alti vincoli ambientali data la presenza di amianto, una sostanza nociva per l’organismo umano.

Al contrario, il parcheggio P10 non presenta alcun vincolo di tipo ambientale.

I confronti a coppie tra alternative saranno quindi:

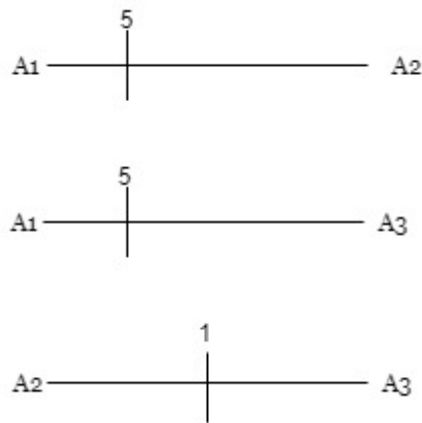


Figura 35: Confronto tra alternative sulla base del criterio “vincoli ambientali”, localizzazione della struttura

A partire da questi valori si ottiene una matrice A pari a:

<b>A</b>	1,00	5,00	5,00
	0,20	1,00	1,00
	0,20	1,00	1,00

Il priority vector PV3 risulta:

<b>PV3</b>	0,72
	0,14
	0,14

- Confronti a coppie dei criteri considerati

Si passa ora alla definizione delle priorità relative ai criteri considerati. Dalle interviste effettuate è risultato che la scelta della localizzazione del nuovo Emergency Center è stata influenzata principalmente dalla vicinanza dell’area con l’ospedale principale. Questo perché, come sottolineato in precedenza, essa permette una gestione ottimale dei flussi di persone e di materiale, nonché un’ottimizzazione dell’utilizzo delle centrali termiche e di tutta la parte impiantistica. La presenza di eventuali vincoli ambientali risulta essere un ulteriore criterio significativo per la scelta. Ciò è dovuto principalmente all’impossibilità di gestire l’area in questione nella sua completezza, non potendo spesso eliminare tali fattori. L’esistenza di vincoli ambientali avrebbe in alcuni casi comportato infatti delle modifiche progettuali ed eventualmente una ri-disposizione delle aree cliniche definite a priori sulla base delle necessità riscontrate.

La difficoltà di realizzazione risulta invece essere il criterio con un impatto minore dal momento che è possibile intraprendere azioni al fine di aggirare le problematiche esistenti e adeguare l'area dal punto di vista impiantistico, anche se tutto ciò porta con sé un aumento in termini di tempo.

I confronti a coppie risultano quindi essere:

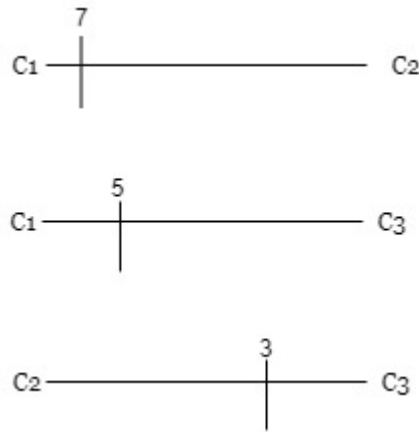


Figura 36: Confronti a coppie tra criteri considerati circa la localizzazione della struttura

La matrice A che ne consegue è:

<b>A</b>	1,00	7,00	5,00
	0,14	1,00	0,33
	0,20	3,00	1,00

Il vettore indicante le priorità dei criteri in questione risulta:

<b>PV4</b>	0,72
	0,08
	0,19

Da esso è possibile notare quanto la scelta sia stata influenzata dalla vicinanza con l'ospedale principale.

Al fine di individuare la scelta ottimale tra le alternative a disposizione si passa ora all'unione dei risultati ottenuti tramite la funzione `MATR.PRODOTTO()`:

<b>B</b>	0,70	0,20	0,72	<b>PV4</b>	0,72	
	0,11	0,68	0,14			0,08
	0,19	0,12	0,14			0,19

X =

PV	0,66
	0,16
	0,17

Si evince quindi che la scelta ottimale risulta essere la realizzazione dell'Emergency Center sull'area sovrastante il parcheggio interrato P10.

Tramite l'utilizzo della metodologia AHP è stato quindi possibile evidenziare analiticamente le scelte eseguite in fase di progettazione dell'Emergency Center realizzato presso Humanitas, d'ora in poi definito Humanitas Covid Center, o anche Building 9.

I passaggi riportati nei paragrafi precedenti vengono sintetizzati in Fig.37

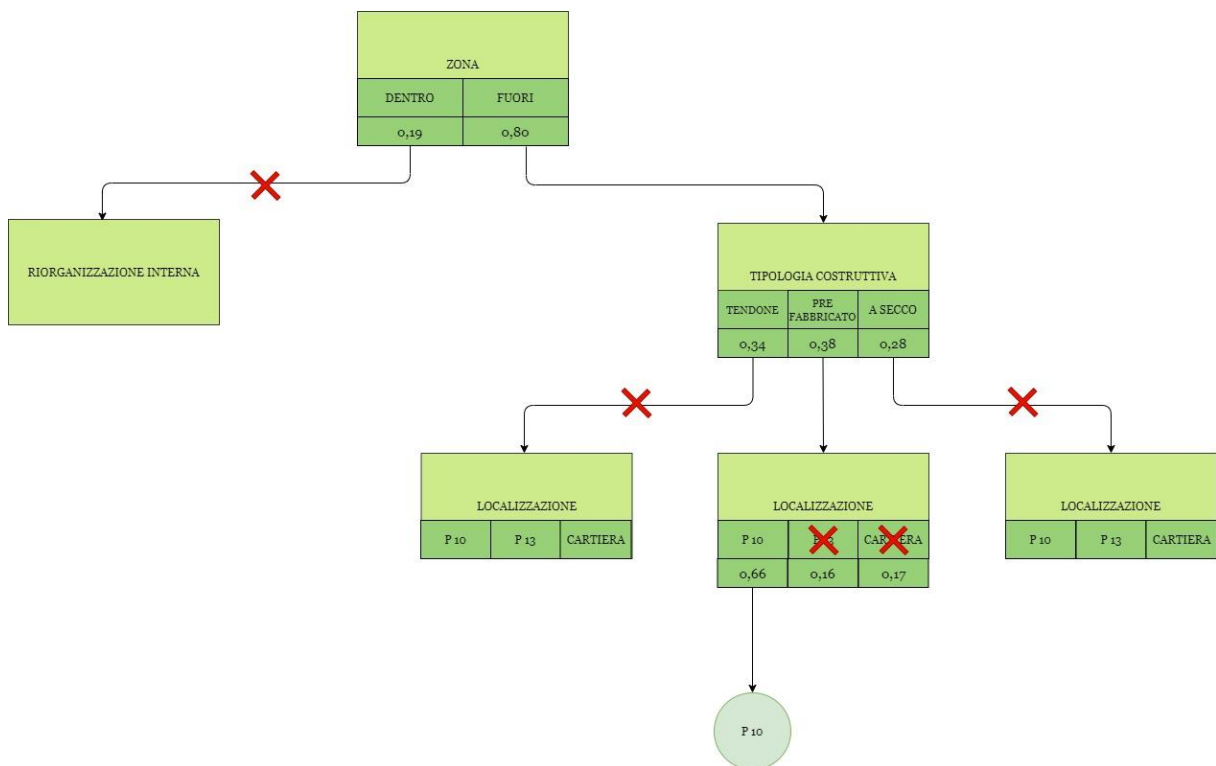


Figura 37: Schematizzazione delle scelte eseguite sulla base della metodologia AHP

La fase di progettazione ha avuto inizio nell'ultima settimana del mese di marzo 2020, in corrispondenza del picco della prima ondata di Covid-19. La realizzazione dell'intero

edificio, ubicato presso il parcheggio P10 di Humanitas e realizzato tramite utilizzo di moduli in prefabbricato ad hoc, ha richiesto un intervallo di tempo di circa 11 settimane, come da progetto.

## 8. Progettazione degli spazi interni

Una volta aver stabilito tutte le caratteristiche che avrebbe dovuto possedere l'edificio, è stato necessario provvedere alla pianificazione degli spazi interni.

Questo significa progettare in maniera medica, e successivamente in maniera esecutiva, le aree a disposizione. In un team di progettazione ospedaliera è fondamentale la presenza di uno specialista in ingegneria biomedica, in grado di comprendere le esigenze cliniche e tradurle in requisiti tecnici, integrandole quindi con la componente infrastrutturale. Il ruolo delle tecnologie biomediche è sempre più rilevante, sia in termini di spazi e quindi di esigenze impiantistiche, che in termini economici. È quindi indispensabile affrontare il tema delle dotazioni tecnologiche, gestendone le implicazioni cliniche, tecniche ed organizzative già nelle prime fasi del progetto.

### 8.1. Progettazione medica

Per progettazione in maniera medica si intende la previsione di ogni possibile necessità al fine di organizzare tutti gli spazi interni ed esterni della struttura con particolare precisione nell'indicare la localizzazione destinata a ciascun elemento. Viene quindi evidenziato il ruolo fondamentale degli ingegneri clinici, i quali svolgono la loro attività in stretta collaborazione con i settori progettuali tradizionali edile ed impiantistico, divenendo attori fondamentali dell'integrazione tra le differenti discipline tecniche. In questa fase gli specialisti elaborano la distribuzione funzionale interna, studiando le interrelazioni fra reparti e servizi offerti, la loro collocazione e la relativa sostenibilità tecnico-economica. Grazie alla conoscenza dei flussi di lavoro clinici ed il relativo contorno tecnico-operativo, la componente di ingegneria clinica si rivela centrale e strategica al processo decisionale. Durante lo sviluppo definitivo ed esecutivo del progetto, gli ingegneri definiscono in dettaglio la dotazione delle tecnologie biomediche attraverso la pianificazione medica fino al livello del singolo locale, con la relativa rappresentazione grafica nelle planimetrie e modello. Sempre in questa fase, i requisiti di installazione di ogni apparecchiatura vengono analizzati stanza per stanza, rispetto agli impianti meccanici ed elettrici, per garantirne la coerenza in fase di esecuzione e successiva installazione. L'ingegneria clinica provvede inoltre alla verifica in sito dei lavori di preinstallazione strutturali e impiantistici e della corretta preparazione delle aree di lavoro interessate, per la successiva supervisione delle attività di installazione delle apparecchiature da parte dei fornitori, fino al collaudo.

Ricordando la suddivisione delle classi di un locale medico<sup>19</sup>, la norma CEI 64-8 definisce un locale medico di gruppo 0, un locale medico nel quale non si utilizzano Apparecchi elettromedicali con Parti Applicate (P.A.) e dove la discontinuità (guasto) dell'alimentazione non può causare rischio per la vita del paziente.

Un locale medico di gruppo 1 è invece un locale medico dove la discontinuità (guasto) dell'alimentazione non può causare rischio per la vita del paziente e nel quale le Parti Applicate sono destinate ad essere utilizzate esternamente o internamente entro qualsiasi parte del corpo ad eccezione del sistema cardiovascolare.

Infine, un locale medico di gruppo 2 si definisce come un locale medico nel quale le Parti Applicate sono destinate ad essere utilizzate in applicazioni quali:

- Interventi intracardiaci;
- Operazioni chirurgiche;
- Trattamenti vitali dove la mancanza dell'alimentazione può comportare pericolo per la vita del paziente.

In base alla tipologia di locale medico in considerazione, esistono diverse prescrizioni impiantistiche, sempre definite dalla norma CEI 64-8/710: nei locali medici di tipo 1 deve essere eseguita un'equalizzazione del potenziale. Essa prevede il collegamento di tutte le masse e anche delle masse estranee fino ad una quota di 2,5 metri dal piano di calpestio, tramite conduttori di sezione opportuna ad un nodo equipotenziale collocato di norma presso il quadro elettrico di reparto o di settore. Lo scopo fondamentale di un nodo equipotenziale in un locale ad uso medico è quello di portare tutte le masse e le masse estranee allo stesso potenziale, in modo tale da evitare lo shock elettrico causato dal toccare due masse diverse. Sono locali medici di gruppo 1 per esempio le stanze di degenza. Locali medici di tipo 2 sono invece aree come la terapia intensiva, la sala rossa del PS ed il blocco operatorio e devono essere dotati, oltre che di nodo equipotenziale, anche di sistema IT-M, cioè di trasformatore di isolamento che in caso di primo guasto avvisa gli operatori in modo che essi possano intervenire e non ci sia rischio di micro-shock per il paziente. Il trasformatore d'isolamento presenta un rapporto unitario ma con un isolamento elettrico tra gli avvolgimenti particolarmente curato e viene utilizzato per disaccoppiare la massa di un apparecchio di misura dalla massa del circuito in esame quando entrambi sono collegati a terra.



Per quanto riguarda la progettazione in maniera medica, verrà ora analizzato nei particolari, il progetto finale della struttura.

Essa prevede l'accesso dalla *camera calda*, dove l'ambulanza lascia il paziente e poi esce dall'apposita uscita (vedi Fig.38). È definita camera calda poiché è un ambiente riscaldato e protetto per i pazienti.

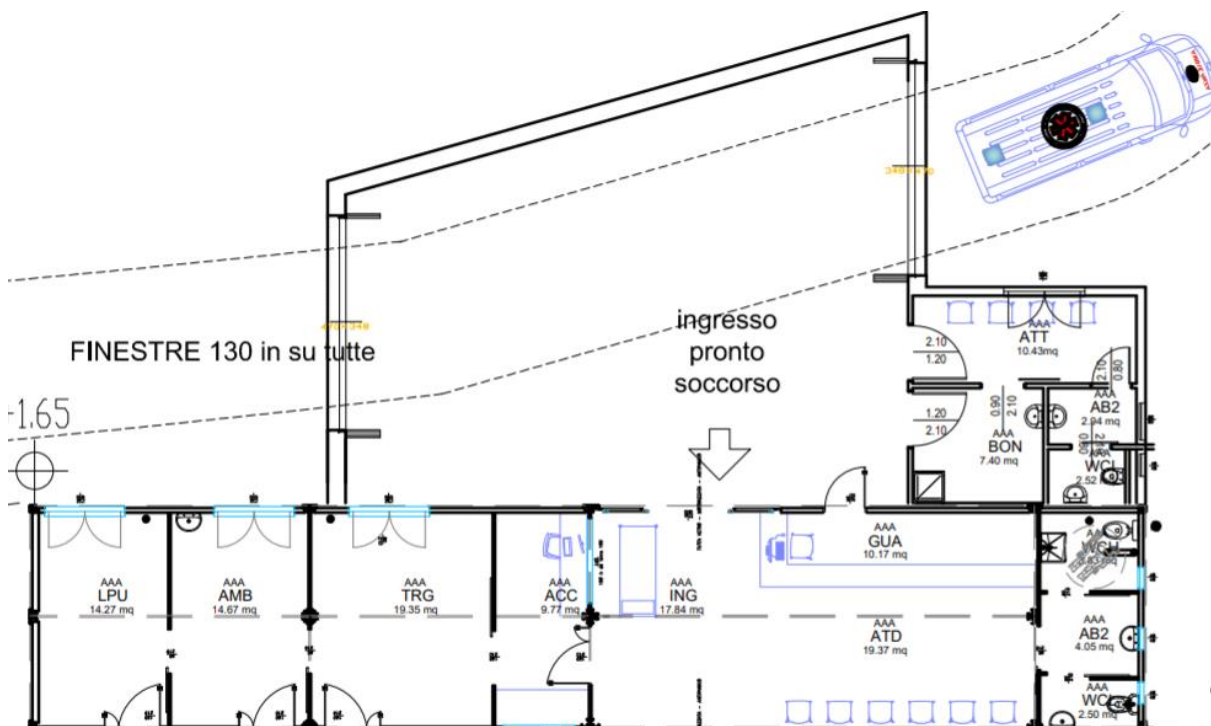


Figura 38: Accesso Covid Center

Dalla camera calda, se il paziente viene classificato come codice rosso, egli viene inviato nella sala apposita (shock-room) dotata di 2 posti letto, collocata nei pressi della camera calda e raggiungibile quindi da essa in tempi brevi (vedi Fig.39).



*Figura 39: Shock room*

Un posto letto dedicato ad un paziente “rosso” prevede quindi la presenza di gas medicali come l’ossigeno (di colore bianco), il vuoto (di colore giallo) e l’aria medica (bianco e nero), come si può notare in Fig.39. È inoltre necessaria la presenza di attacchi per la corrente, qui presenti nella colorazione rossa; ciò sta ad indicare la presenza di trasformatore di isolamento per la protezione elettrica, essendo la shock-room un locale medico di tipo 2. È inoltre presente l’attacco alla rete al fine di realizzare il collegamento con la cartella clinica informatizzata del paziente.

Tutto ciò viene montato ad una struttura ancorata al soffitto in modo tale che sia presente spazio fisico dietro al letto del paziente e l’operatore sanitario abbia quindi la possibilità di intervenire con un’eventuale intubazione.

Se invece il paziente non è un codice rosso, viene inviato nella sala d’attesa dove attende il suo turno per entrare ed essere visitato nella sala Triage. Accanto alla sala Triage sono presenti due ambulatori, come si può notare da fig.38. Al Triage vengono monitorati diversi parametri al paziente:

- Pressione sanguigna;
- Saturazione di Ossigeno;
- Frequenza cardiaca;
- Temperatura;
- ECG (se necessario);

Tramite un algoritmo viene calcolato uno score e tutti i dati vengono inviati wireless alla cartella clinica informatizzata del paziente in modo tale che siano disponibili e consultabili da tutti gli operatori sanitari coinvolti nella sua cura. Da qui esistono poi due possibilità:

1. Paziente classificato come *codice verde*

Viene inviato nell'area dedicata di 93 mq, dove sono presenti 14 posti, più uno isolato dedicato a pazienti con patologie infettive, con un'area di 13 mq (Fig.40).

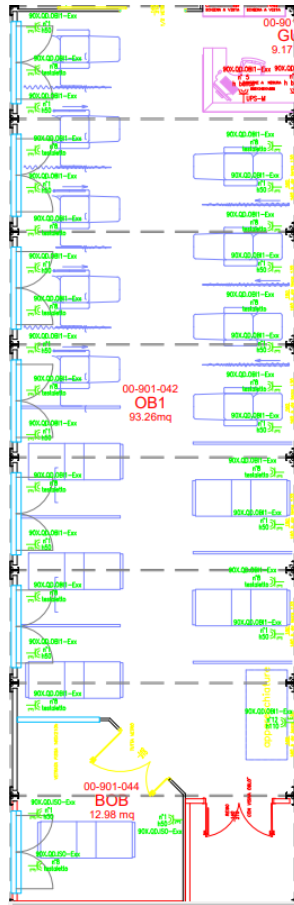


Figura 40: Sala del PS dedicata ai codici verdi

Per ciascuna postazione sono presenti a parete un attacco per l'ossigeno (di colore bianco), uno per il vuoto (di colore giallo) e uno per l'aria medicale (bianco e nero), lo strumento per la chiamata all'infermiere e gli attacchi per la corrente (in bianco dal momento che questa sala è un locale medico di tipo 1 e dotata quindi di nodo equipotenziale come misura di sicurezza elettrica), come di può notare in fig.41.



*Figura 41: Postazione codici verdi*

## 2. Paziente classificato come *codice giallo*

Viene inviato all'area dedicata, collocata esattamente di fianco alla sala verdi, dove sono presenti 10 posti (Fig.42), ciascuno con in dotazione una trave testa-letto illuminata con gli stessi attacchi previsti per i codici verdi (uno per il vuoto, uno per l'ossigeno ed uno per l'aria medicale). Sono presenti a soffitto anche delle strutture che permettono il montaggio di tende per separare un paziente dall'altro e garantire quindi la privacy necessaria (Fig.43).





Figura 44: Attacchi presenti in una postazione per codici gialli

All'interno del Pronto Soccorso è presente una stazione di monitoraggio da parte di personale infermieristico denominata GUI, che permette di tenere sotto controllo contemporaneamente la sala verdi e la sala gialli, come si può notare dalla fig.45.



Figura 45: GUI presente nel Pronto Soccorso

Dalla sala dedicata ai codi gialli si accede alla **sala TAC**, che verrà analizzata nello specifico nel sotto-paragrafo 8.1.1.

Per quanto riguarda invece la **terapia intensiva**, essa è dotata di 12 posti letto (di cui 1 in isolamento) con GUI (postazione di guardia infermiere) interna, come rappresentato in Fig.46.

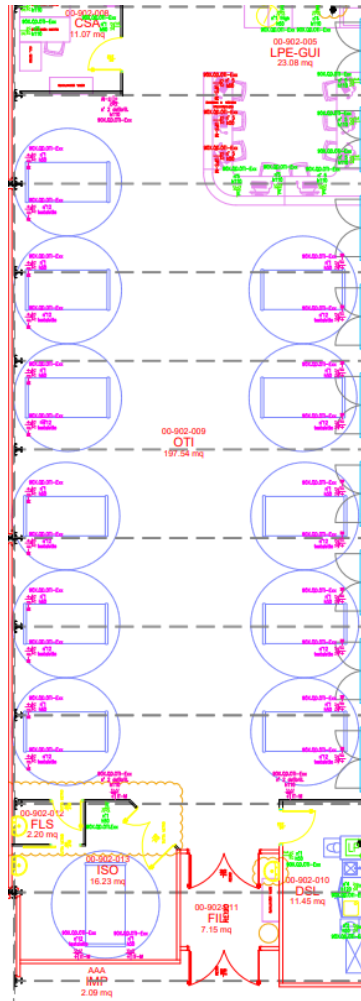


Figura 46: Unità di terapia intensiva

Ogni letto dispone di una trave testa-letto illuminata con due attacchi per il vuoto, due per l'ossigeno, due per l'aria medica ed uno per l'aspirazione dei gas anestetici (in rosa); quest'ultima è presente poiché, nel caso di complicanze nel paziente, se risulta necessario aprire ed intervenire egli deve essere anestetizzato – e per evitare dispersione nell'ambiente del gas viene installato questo sistema di aspirazione -. Sono presenti inoltre prese di corrente continua (differenziate dal colore rosso).





*Figura 47: Postazione letto di terapia intensiva*

La zona del PS e quella della terapia intensiva sono separate da un corridoio di velocità che collega direttamente la shock room con il **blocco operatorio**, raffigurato in Fig.48.

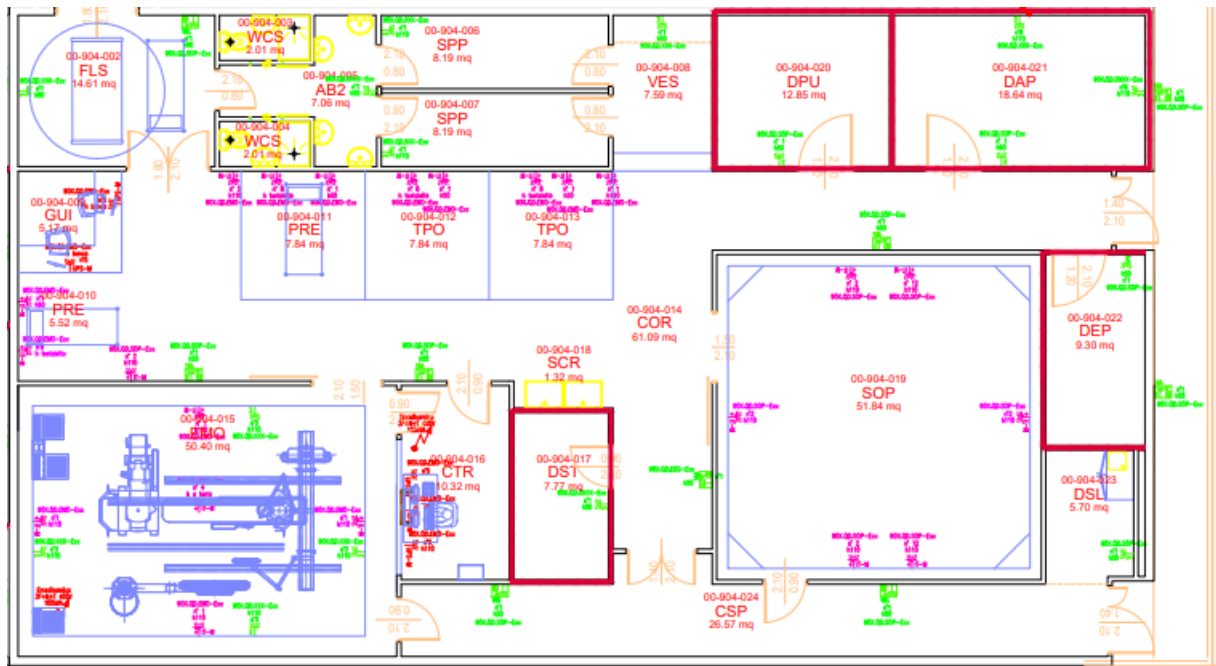


Figura 48: Blocco operatorio

Il blocco operatorio è costituito da una sala operatoria multidisciplinare e da una sala di emodinamica dotata di Angiografo. Per quanto riguarda la sala multidisciplinare, essa è dotata di pensili gemelli con dotazione di vuoto, ossigeno, aria medica, anidride carbonica ed evacuazione dei gas anestetici. La presenza di anidride carbonica dà la possibilità di operare in laparoscopia permettendo che si crei pneumotorace e che lo strumento operatorio possa essere inserito nel corpo del paziente. Il vuoto viene utilizzato per i sistemi di aspirazione mentre ossigeno ed aria per il funzionamento delle apparecchiature. Sono previste a soffitto anche lampade scialitiche per cui si dovrà provvedere al fissaggio della struttura portante a controsoffitto prima che esso venga chiuso. La sala dotata di angiografo verrà invece considerata nel dettaglio nel sotto-paragrafo 8.1.2.

Per quanto riguarda la **degenza**, essa si compone di 25 posti letto (17 in camera singola e 8 in zona semi-intensiva, divisi in due camere da 4). Gli 8 posti in semi-intensiva sono supervisionati da GUI con monitor.



Figura 49: Area dedicata alla degenza

Per ciascun posto letto di degenza sono presenti un attacco per il vuoto, uno per l'ossigeno e uno per l'aria medica, prese elettriche con protezione elettrica tramite nodo equipotenziale e tasto chiamata infermiere. È presente, inoltre, una trave UNI per il montaggio di tutti gli strumenti necessari.



*Figura 50: Posto letto di degenza*

Sono presenti i servizi con lavabo, doccia e wc ed una zona isolata tra corridoio e camera in cui gli infermieri possono portare il cibo al paziente, evitando rischio di contatto; questa modalità di consegna può essere utilizzata solamente in caso di paziente deambulante poiché egli può recarsi nella zona di consegna solo quando l'infermiere non vi è più presente.

Nella zona di degenza è presente anche una camera sporca dove vengono svuotati e disinfettati i contenitori delle feci e urine (Fig.51).



*Figura 51: Sala sporca*

Tutto l'edificio è dotato di impianti di monitoraggio. In particolare, sono presenti 3 stazioni di controllo:

- Uno nel reparto di degenza;
- Uno in terapia intensiva;
- Uno in PS;

### 8.1.1. Sala TAC

La sala TAC è composta da due locali: il primo contenente l'apparecchiatura vera e propria, mentre il secondo rappresentante la sala di controllo (control room), come si può notare da Fig.52.

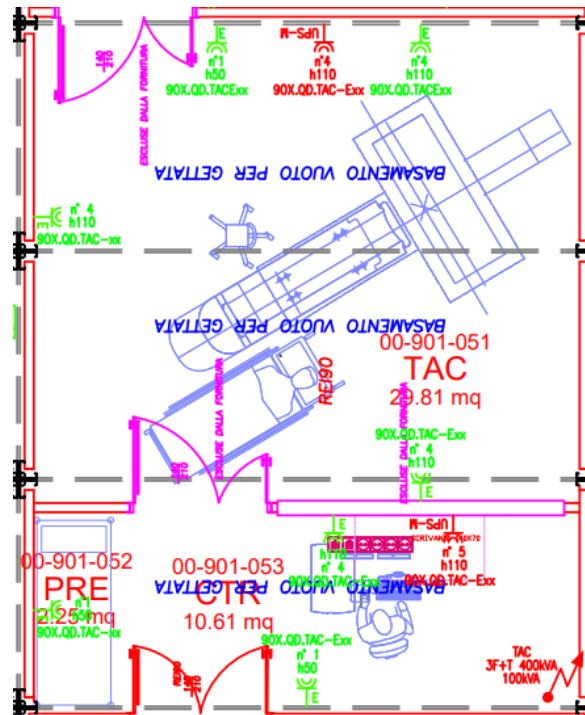
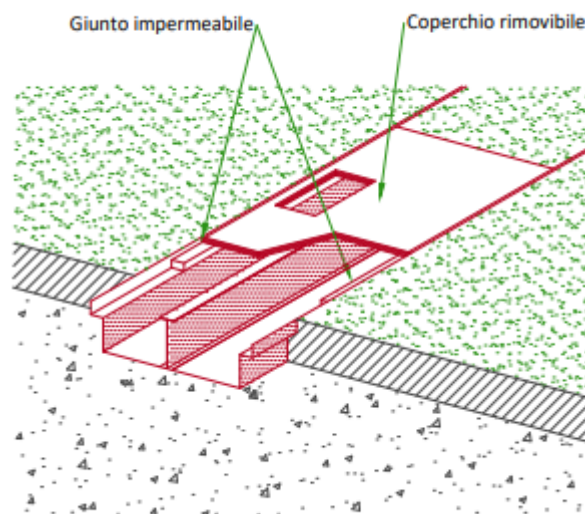


Figura 52: Sala TAC

Di fondamentale importanza è per questa sala lo studio degli spazi: la TAC deve essere posizionata in maniera esocentrica ed è necessaria la presenza di spazio attorno ad essa in modo tale che essa possa essere aperta per eseguire tutti i collegamenti e manutenzioni necessarie.

La sala presenta inoltre tutti i collegamenti elettrici a pavimento. Esso è costituito da calcestruzzo rinforzato ed è dotato di canaline apribili ed ispezionabili per il passaggio dei cavi elettrici; esse vengono richiuse con un coperchio apribile per provvedere a tutte le connessioni necessarie per il funzionamento dell'apparecchiatura (vedi fig.53). Il tutto viene poi bullonato direttamente a terra.



*Figura 53: Canaline apribili dedicate al passaggio dei cavi elettrici nella sala TAC*

L'intero sistema di canaline apribili presente nella sala è raffigurato in fig.54.

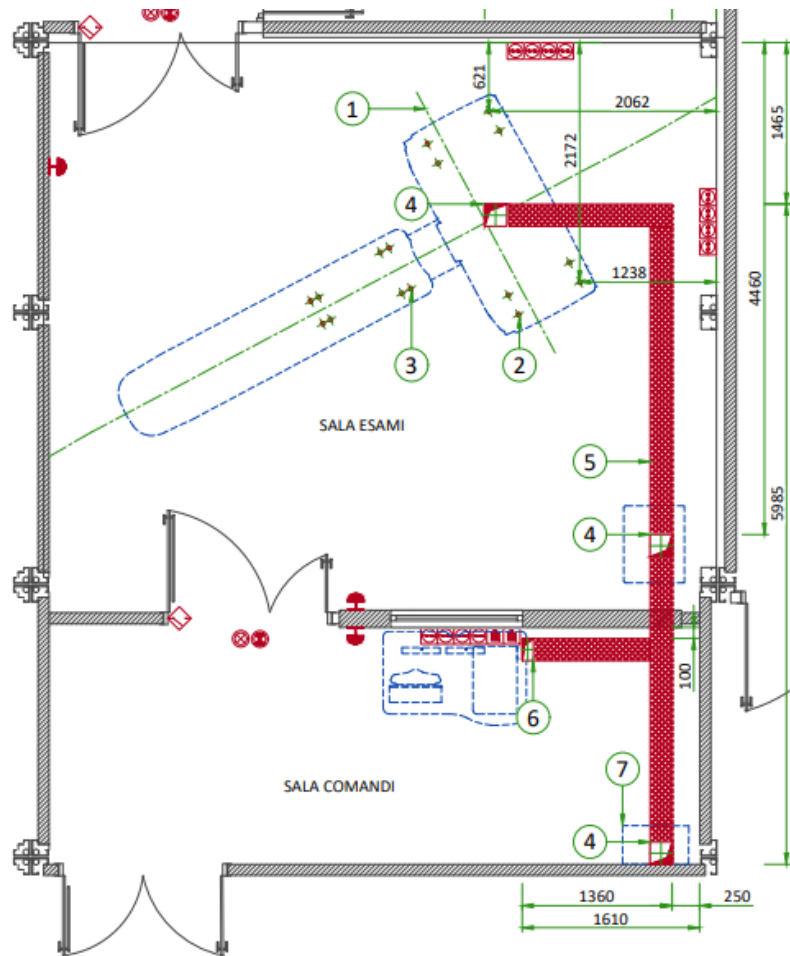


Figura 54: Sistema di canaline presente nella sala TAC

Risulta quindi di fondamentale importanza la comprensione della struttura di canaline a pavimento poiché lo spazio destinato ad esse deve essere gestito in fase di costruzione.

Lo stesso discorso vale per il monitor presente a soffitto. Esso viene mantenuto in posizione da una struttura apposita presente nel controsoffitto per cui si dovrà procedere al suo posizionamento prima di richiudere totalmente il soffitto. Sono questi esempi che evidenziano il ruolo cruciale della comprensione del problema in fase di progettazione.

Per quanto riguarda le caratteristiche elettriche della sala, l'alimentazione elettrica del sistema deve essere derivata dal Quadro Elettrico (QE) contenente le unità di protezione e di controllo e la sezione del cavo di alimentazione al QE deve essere calcolata in base alla sua lunghezza e alla massima caduta di tensione ammissibile. La linea di alimentazione del sistema deve essere indipendente da altre linee che potrebbero creare interferenze (ascensori,



impianti di aria condizionata, etc.) ed i picchi di tensione devono essere minori di 1500 V (su una linea di 400 V).

Riguardo ai cavi, la loro installazione deve rispettare lo schema di alimentazione elettrica. Devono essere tutti isolati e flessibili ed il codice dei colori deve rispettare la normativa per gli impianti elettrici. Le regole generali per la posa delle canalizzazioni elettriche devono rispettare le norme ed i regolamenti per quanto riguarda:

- La protezione dei cavi dall'acqua (i condotti devono essere impermeabili).
- La protezione dei cavi contro temperature estreme (in prossimità delle tubazioni di riscaldamento).
- La protezione dei cavi contro gli shock termici.
- La sostituzione dei cavi (le canalizzazioni devono essere abbastanza grandi per permettere la sostituzione dei cavi).
- Le canalizzazioni in metallo vanno collegate a terra.

All'interno della sala TAC è inoltre fondamentale mantenere certi libelli di temperatura e umidità, differenziati tra sala esame e sala comando, e rappresentati in tab.4:

*Tabella 4: Condizioni ambientali necessarie nella sala TAC*

	<b>SALA ESAMI</b>			<b>SALA COMANDI</b>		
Temperatura	Min	Consigliata	Max	Min	Consigliata	Max
		18°C	22°C	26°C	18°C	22°C
Variazione di temperatura	<b>≤ 3°C/h</b>			<b>≤ 3°C/h</b>		
UR (1) non condensante	da 30% a 60%			da 30% a 60%		
Variazione di UR (1)	<b>≤ 5%/h</b>			<b>≤ 5%/h</b>		

Al fine di mantenere i livelli sopra riportati, è necessario individuare i valori di dissipazione di calore della strumentistica presente (Gantry, tavolo portapaziente, consolle operatore etc.).

È inoltre necessario realizzare le porte di ingresso/uscita dalla sala in Piombo al fine di assicurare radioprotezione nelle aree adiacenti.

### 8.1.2. Sala Angiografo

Il locale adibito ad ospitare l'Angiografo costituisce una delle due sale presenti nel blocco operatorio dell'edificio. Essa è strutturata come in Fig.55:

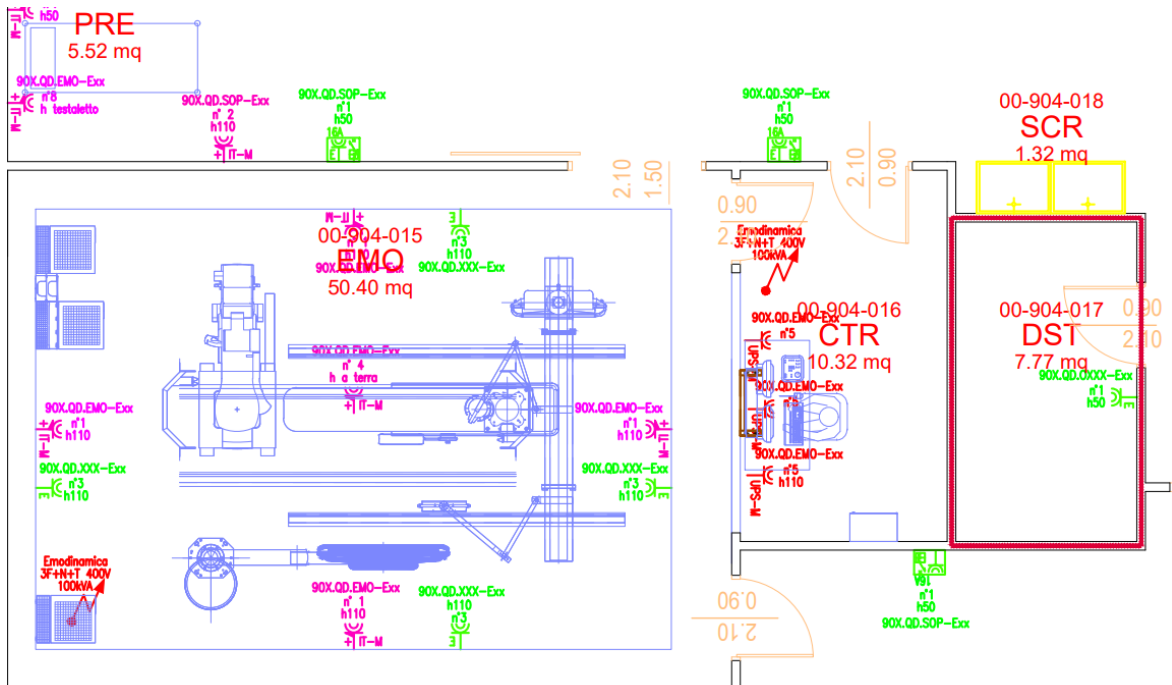


Figura 55: Sala operatoria di emodinamica, ospitante l'Angiografo

Sono qui presenti strutture fissate a controsoffitto, dotate di un certo carico, che devono quindi essere progettate a priori prima di richiudere il tutto.

Anche in questa sala, come per la sala TAC, devono essere mantenuti requisiti ambientali di temperatura e umidità, come specificato in Tab 5:

Tabella 5: Condizioni ambientali necessarie nella sala Angiografo

Caratteristiche richieste	Sala esame	Sala comandi	Locale tecnico
Temperatura	Da 18 a 23° C	Confortevole per operatori	da 18 a 23° C
Umidità relativa (senza condensazione)	Dal 40 al 60%	Confortevole per operatori	Dal 40 al 60%
Nb. In sala esame mantenere le condizioni di temperatura e umidità relativa indicate anche con l'apparecchiatura non funzionante, per 24 h - 7 gg / sett Nb1. Nel locale tecnico e in sala esame prevedere controllo temperatura con allarme in sala comandi al raggiungimento di 28°C			

## 8.2. Progettazione esecutiva

Una volta aver pianificato ed organizzato tutti gli spazi, si passa alla parte esecutiva vera e propria, composta da una parte di acquisto del materiale necessario per il corretto funzionamento del sistema e da una successiva fase di installazione delle apparecchiature acquistate.

Viene per questo motivo redatto un programma giornaliero.

Per quanto riguarda il posizionamento delle riserve, i silos contenenti i gas vengono posizionati sotto il suolo, le UTA si trovano invece al di sopra della struttura, mentre l'impianto elettrico è realizzato sottotraccia e collegato poi all'alimentazione generale.

La fase di acquisto è preceduta da una parte gestionale di programmazione e pianificazione.

La capacità degli ingegneri nella gestione di acquisti complessi di tecnologie biomediche deriva da una solida conoscenza dei processi clinico-operativi e da una stretta collaborazione con la componente medica ed infermieristica. Attraverso questa modalità collaborativa, le esigenze funzionali vengono condivise e comprese in fase di sviluppo del progetto, quindi analizzate e tradotte in necessità tecniche.

Da qui, in parallelo alla fase di progettazione medica, le tecnologie identificate come necessarie vengono pianificate dagli specialisti e conteggiate per stanza e per reparto, con relativo budget e stesura dei requisiti e specifiche tecniche di capitolato.

Il primo passo consiste quindi nella stesura del capitolato tecnico; esso rappresenta una lista di esigenze per posto letto, realizzata sulla base del progetto medico. Vengono quindi realizzati diversi capitolati, diversificati per ciascun reparto. Prendendo in considerazione il reparto di Terapia Intensiva, le necessità individuate per ciascun posto letto sono risultate essere:

- Letto elettrificato dotato di materasso antidecubito;
- Ventilatore polmonare;
- Sistema di monitoraggio multi-parametrico dotato di modulo BIS. Esso permette infatti anche a personale infermieristico non esperto di terapia intensiva di poter prendere la decisione più corretta grazie alla presenza di un valore che identifica lo stato di salute del paziente;

- Centrale di telemetria collegata alla cartella clinica informatizzata del paziente. In questo modo è possibile sfruttare il teleconsulto da remoto: gli anestesisti meno esperti possono così ricevere informazioni dettagliate su come agire da parte di anestesisti più anziani che vedono i dati da remoto;
- Sistema di infusione volumetrica a siringa dotato di rack integrato in modo da inviare i dati relativi all'infusione alla cartella clinica informatizzata del paziente;
- Sistema di pompe nutrizionali;
- Sistema di riscaldamento dei fluidi dei pazienti;
- Sistema di riscaldamento corporeo dei pazienti, per poter tenere sotto controllo la loro temperatura;
- Sistema di aspirazione;
- Sistemi di porta-utenze;
- Sistema di doppia utenza per singola dotazione di gas;
- Un sistema di aspirazione di gas anestetici;
- Continuità rete;
- Prese dati per inviare alla cartella clinica informatizzata informazioni relative a ventilazione, monitoraggio parametrico e infusione.

Tutto questo deve poi essere replicato per tutti i 12 posti letto presenti nel reparto di Terapia Intensiva (vedi Fig.56).



*Figura 56: Posto letto di terapia intensiva, corredato di tutte le apparecchiature necessarie*

Vengono inoltre richiesti ulteriori strumenti a servizio dell'intera area di Terapia Intensiva che in caso di necessità possono essere trasferiti al posto letto del paziente:

- Due defibrillatori;
- Un sistema di emogas, collegato anch'esso alla cartella clinica informatizzata;
- Ventilatori portatili;
- Video laringoscopio;
- Elettrocardiografo;
- Ecotomografo multidisciplinare dotato di ecocardio;
- Sistema di radiologia portatile per imaging radiologico.

Tramite ragionamenti come quello riportato si ottiene un quadro complessivo rappresentante le necessità circa dispositivi e materiale da destinare al Covid Emergency Center.

Si passa quindi allo step successivo, il quale consiste nell'esecuzione di una previsione di budget relativo ai capitoli tecnici.

Al fine di valorizzare i capitolati vengono utilizzati valori standard a disposizione del SIC di Humanitas, calcolati sulla base degli ordinari fornitori della struttura. Da qui è stata quindi ottenuta una previsione di budget totale necessario, che doveva poi essere analizzata dalla direzione ospedaliera.

È importante sottolineare che, al fine di svolgere al meglio questi passaggi, è necessaria una forte competenza in materia di HTM da parte degli Ingegneri clinici. Per HTM (Health Technology Management) si fa riferimento al coordinamento ed alla gestione di tutte quelle attività che riguardano l'utilizzo delle tecnologie biomediche all'interno di un'azienda ospedaliera. Lo scopo di tale attività è quello di prolungare il più possibile il periodo di utilizzo dell'apparecchiatura all'interno della struttura, assicurandone il corretto e sicuro funzionamento, garantendo risultati ottimali in termini di assistenza al paziente e, al contempo, prestando attenzione alle risorse impiegate, siano esse economiche, umane o tecnologiche<sup>20</sup>.

Possedendo una solida conoscenza riguardo al lifecycle delle apparecchiature elettromedicali, è possibile quindi stendere un capitolato tecnico nella maniera più ottimale possibile e fissare un relativo budget in modo coerente e preciso.

Una volta aver sottoposto all'ufficio di Direzione Generale la previsione di budget, è stato subito un taglio sostanziale, rendendo disponibili circa la metà delle risorse economiche previste come necessarie. Il SIC di Humanitas ha dovuto per questo effettuare diverse scelte strategiche, analizzando ogni singola voce del capitolato tecnico complessivo e considerando ciascuna di esse come un mini-progetto da esaminare. Per ciascun dispositivo sono stati quindi selezionati dai due ai tre possibili fornitori a cui è stata poi fatta richiesta di un preventivo. I fornitori finali sono stati individuati principalmente sulla base di tre fattori:

- Approvvigionamento in breve termine del necessario;
- Allineamento con il capitolato tecnico;
- Prezzo richiesto;

Sono stati quindi considerati solamente i fornitori che avrebbero permesso di ottenere il necessario nei tempi previsti dal progetto e con tutte le caratteristiche tecniche ipotizzate; la parte economica è stata presa in considerazione solo in un secondo momento.

Appare quindi evidente come l'obiettivo finale del SIC di Humanitas sia quello di migliorare gli esiti di salute dei pazienti ottimizzando il consumo di risorse; è proprio da qui che scaturisce il valore per il paziente. Il ruolo centrale di questi due elementi, outcomes clinici e costi, è reso evidente dall'equazione del Value, definita dal professor Michael Porter come<sup>21</sup>:

*Value = Health outcomes that matter to patients/Costs of delivering those outcomes*

Il Value viene quindi calcolato come outcomes rilevanti per il paziente diviso i costi per ottenere quegli outcomes.

Qui trova la sua origine il concetto del Value-Based Health Care (VBHC), all'interno del quale un miglioramento degli outcomes clinici unito al contenimento e, ancor più, alla diminuzione dei costi ad essi legati, possono portare all'aumento del valore e della qualità della cura del paziente.

Appare quindi evidente quanto il procurement dei prodotti medicali abbia un forte impatto sul dimensionare il Value definito tramite l'equazione di Porter, in quanto ogni scelta relativa all'acquisizione di un prodotto rispetto ad un altro è in grado di incidere su entrambi gli elementi dell'equazione.

È proprio grazie ad una solida conoscenza delle tecniche di Value-Based Procurement che gli ingegneri clinici sono in grado di gestire la parte di trattativa con i fornitori nel modo più ottimale possibile.

Si possono inoltre presentare situazioni in cui risulta conveniente riutilizzare materiale già presente in ospedale, evitando acquisti inutili; è anche grazie a questa strategia che è stato possibile rientrare nel budget previsto. È questo il caso, ad esempio, dei letti destinati al reparto di Degenza. Essi sono stati infatti recuperati da un magazzino dell'ospedale, rimessi a nuovo e riallocati al Covid Emergency Center. Questa scelta è stata dettata dal fatto che i letti non avrebbero dovuto subire spostamenti notevoli all'interno dell'edificio, per cui non erano richieste particolari prestazioni in termini di resistenza al movimento.

Un'altra possibile scelta consiste nel ricorrere a nuovi fornitori i quali permettono di usufruire di prezzi vantaggiosi al fine di farsi conoscere dalla struttura ospedaliera, in vista di possibili collaborazioni future. Questa strategia è stata utilizzata, ad esempio, per rifornire

la sala operatoria. I pensili, il tavolo operatorio e le lampade scialitiche sono stati acquistati da un fornitore che ha fornito un pacchetto speciale per Humanitas.

Sono quindi diversi gli aspetti da prendere in considerazione in questa fase di acquisto, e gli ingegneri clinici svolgono qui un ruolo cruciale. La figura riportata di seguito (Figura 57) illustra la logica di Humanitas alla base dei processi d'acquisto. Questi criteri rappresentano infatti i pilastri del processo d'acquisto e vengono utilizzati come supporto importante sia per le decisioni sulle sostituzioni che per i nuovi investimenti. L'intero processo richiede il completo coinvolgimento di più figure all'interno della struttura ospedaliera: ingegneri, personale sanitario, direzione sanitaria, gestione operativa e controllo di gestione. Sono anche coinvolti i fornitori, i quali dimostrano disponibilità e flessibilità nell'adattarsi ai processi di gestione interna.

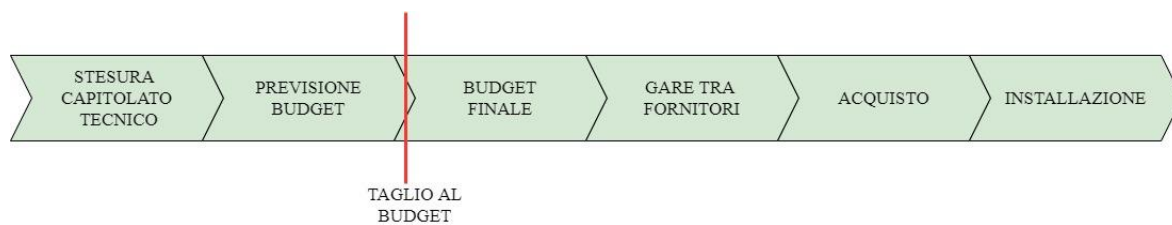


*Figura 57: Logica di Humanitas nei processi d'acquisto*

Dopo aver selezionato i fornitori, si passa alla fase di acquisto vero e proprio ed alla successiva verifica delle installazioni. Esse risultano essere critiche nel caso di apparecchiature ad elevata tecnologia, come la TAC o l'Angiografo. I fornitori devono in questo caso comunicare eventuali dati tecnici e dimensioni necessarie per eseguire un corretto posizionamento all'interno dell'edificio dell'apparecchiatura in questione. È compito degli ingegneri clinici quello di verificare l'effettiva presenza delle condizioni richieste ed eventualmente programmare azioni alternative.



Riassumendo, le fasi necessarie al completamento della struttura dal punto di vista delle apparecchiature interne, possono essere schematizzate come in Fig.58:



*Figura 58: Step necessari al completamento interno del Covid Center*

## 9. Conclusioni

A termine di tutto ciò, è possibile concludere che le fasi da seguire per realizzare un Emergency Center sono diverse.

Inizialmente è fondamentale una comprensione delle esigenze cliniche, in termini di tipologia e numero di reparti necessari. Dall'esperienza acquisita durante i primi mesi di gestione dell'emergenza è stato possibile dedurre che la nuova area da destinare completamente ai pazienti Covid doveva essere dotata di un Pronto Soccorso dedicato, di un'area di terapia intensiva, di una degenza, di una sala di diagnostica per immagini e di un blocco operatorio. Questa scelta dipende dal fatto che la nuova area Covid doveva necessariamente trattare il malato nel modo più completo possibile, prevedendo ogni possibile evoluzione della sua situazione di salute. Una volta aver stabilito la tipologia di reparti necessari, si è passati ad un loro dimensionamento, sulla base dei dati ricavati dalla prima ondata del virus. Si è così stabilita, ad esempio, una media di accessi respiratori al giorno pari a 30. Tramite considerazioni di questo tipo si è concluso che era necessaria una superficie complessiva di circa 3000 mq.

Si sposta quindi l'attenzione sull'analisi delle alternative a disposizione per la costruzione dell'edificio, analizzandole in riferimento a diversi criteri e assegnando a ciascuno di essi un peso. Si arriva così ad un'ordinazione delle alternative in modo tale da individuare quella ottimale. Tramite l'utilizzo della metodologia Analytic Hierarchy Process è stato possibile concludere che la scelta ottimale rappresentava la realizzazione di una struttura esterna rispetto al corpo principale dell'ospedale, tramite l'utilizzo di moduli in prefabbricato realizzati *ad hoc* in modo tale che la struttura possedesse caratteristiche di durabilità nel tempo e allo stesso tempo di velocità di realizzazione. È stato infine stabilito che l'Emergency Center sarebbe dovuto sorgere nell'area sovrastante il parcheggio P10, data la sua vicinanza con il Building 2 di Humanitas, sede del magazzino, dell'ingegneria clinica e in prossimità delle centrali e della rete fognaria; tutto ciò ha permesso un'ottimizzazione delle risorse e delle tempistiche.

Una volta fatte queste scelte, è necessario concentrarsi sull'interno della struttura, dal punto di vista della progettazione medica ed esecutiva. È stata inizialmente prevista la localizzazione di ciascun elemento e, tramite una stretta collaborazione con gli impiantisti, è stato possibile realizzare gli attacchi dei gas medicali, le diverse prese elettriche (stabilite

in base al locale medico in considerazione) e la realizzazione delle diverse strutture presenti a controsoffitto al fine di garantire la tenuta dei carichi previsti. Si è infine passati alla stesura di capitolati tecnici per ogni singola area, definendo le necessità in termini di apparecchiature e dispositivi medici ed eseguendo un'ipotesi preventiva di budget. Questo è poi stato fatto sottoscrivere alla Direzione Ospedaliera, la quale ha apportato delle modifiche, obbligando gli ingegneri clinici ad operare diverse scelte strategiche al fine di rientrare nella cifra prevista. Si è così arrivati a scegliere ad esempio, di riutilizzare e rimettere a nuovo dispositivi già presenti in ospedale. Nei casi in cui invece questo non è stato possibile, sono state effettuate gare tra fornitori al fine di individuare l'opzione che risultasse ottimale in termini di allineamento al capitolato tecnico, tempistiche ed infine costi. Una volta aver definito tutto il necessario si è passati alla fase di acquisto vera e propria, seguita dalla fase di installazione delle apparecchiature. La presenza degli ingegneri clinici è risultata nuovamente fondamentale nel caso di installazioni di apparecchiature critiche, come la TAC o l'Angiografo.

Appare quindi evidente come il Servizio di Ingegneria Clinica non ricopra all'interno di una struttura ospedaliera un ruolo marginale, ma anzi, rappresenti un elemento indispensabile al fine di garantire il corretto funzionamento del sistema. Nel corso di una pandemia come quella di Covid-19, gli ingegneri clinici rappresentano infatti “gli eroi nascosti dell'emergenza” essendo essi coinvolti sia nell'approvvigionamento di tutti i dispositivi necessari per la gestione dei pazienti affetti dal virus, sia nella gestione degli spazi e del personale sanitario.

Un SIC di tipo “gestionale” come quello presente all'interno dell'Istituto Clinico Humanitas possiede quindi tutte le competenze necessarie in termini di Health Technology Management e di Value-Based Procurement affinché tutte le fasi presentate vengano gestite in modo efficace ed efficiente, avendo sempre come obiettivo il miglioramento della cura dei pazienti. È quindi questo un esempio di come l'ingegneria clinica può attivamente essere coinvolta nella gestione di emergenze sanitarie, diventando la protagonista nella realizzazione di strutture esterne d'emergenza.

Concludendo, le fasi da seguire nel momento in cui si voglia realizzare un Emergency Center in fase di emergenza sono sintetizzate in Figura 59:



Figura 59: Fasi necessaria per la realizzazione di un Emergency Center

Tutto il lavoro presentato è stato basato su previsioni fatte tramite l'utilizzo dei dati rilevati dall'ospedale durante la prima ondata e con la convinzione che una possibile seconda ondata non avrebbe raggiunto i numeri di marzo-aprile. Purtroppo, le previsioni fatte sono risultate essere sottodimensionate.

Al mese di novembre 2020, Humanitas si trova infatti in difficoltà nella gestione dell'enorme flusso di pazienti Covid. Basti pensare che al 9 novembre 2020 si hanno circa 50 accessi respiratori giornalieri -e quindi potenzialmente riconducibili a casi positivi- quando invece ne erano stati previsti solamente 30.

Sicuramente nel momento in cui è stata progettata e dimensionata la struttura non si poteva prevedere quale sarebbe stato effettivamente il flusso caratterizzante la seconda ondata. Le decisioni prese dal governo riguardo la riapertura degli spostamenti e delle attività nei mesi estivi hanno inoltre influenzato il numero di casi positivi al virus.

In ogni caso, il Servizio di Ingegneria Clinica continuerà a ricercare ulteriori soluzioni al fine di fronteggiare l'emergenza al meglio.

Nonostante ciò, è importante sottolineare come, al mese di novembre 2020, tutti i pazienti che necessitano di ricovero in terapia intensiva siano gestiti all'interno dell'Emergency Center dedicato. La sola modifica che è stata apportata rispetto alle previsioni iniziali rappresenta l'utilizzo degli otto posti di "semi-intensiva" collocati nella degenza Covid come posti letto di terapia intensiva. Questo rappresenta un traguardo dal momento che Humanitas

è in grado di gestire i pazienti maggiormente critici nel migliore dei modi e nella struttura ad essi dedicata.

Nel momento in cui si troverà una soluzione per Covid-19, l'Emergency Center potrebbe essere adattato ad esigenze differenti. Questo è reso possibile dalla scelta fatta in fase di progettazione riguardo la durabilità dell'edificio e la presenza di tutti i reparti necessari affinché la struttura possa funzionare come un ospedale a sé stante. Le risorse non sono state quindi spese invano, la struttura potrebbe essere in futuro ridisegnata in modo tale da diventare, ad esempio, il dipartimento di malattie infettive che è sempre mancato all'ospedale. Questa soluzione sarebbe ottimale data anche l'esternalizzazione dal corpo principale; in questo modo infatti eventuali malattie infettive rimarrebbero confinate all'interno di una singola area.

## Bibliografia

1. Associazione Italiana Ingegneri Clinici (AIIC). L'Ingegnere Clinico, una risorsa per la Salute. (2015).
2. Acter, T. *et al.* Evolution of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) as coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic: A global health emergency. *Sci. Total Environ.* **730**, 138996 (2020).
3. Calvo, C., López-Hortelano, M. G., Vicente, J. C. de C. & Martínez, J. L. V. Recommendations on the clinical management of the COVID-19 infection by the «new coronavirus» SARS-CoV2. Spanish Paediatric Association working group. *An. Pediatria (English Ed.* **92**, 241.e1-241.e11 (2020).
4. Zheng, Y. Y., Ma, Y. T., Zhang, J. Y. & Xie, X. COVID-19 and the cardiovascular system. *Nat. Rev. Cardiol.* **17**, 259–260 (2020).
5. Ma, L., Song, K. & Huang, Y. Coronavirus Disease-2019 (COVID-19) and Cardiovascular Complications. *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* **2019**, (2020).
6. Gestione pneumologica dei pazienti con infezione respiratoria da COVID-19. (2020).
7. Ministero della Salute. Dieci comportamenti da seguire. 2020 (2020).
8. Biomedical Engineers. (2017).
9. Chari, R. No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. (2020).
10. Humanitas Versus.
11. Definizione di blocco operatorio. 1–30
12. Hapter, C. 4.1 Overview. 93–138 (2007).
13. Bernasconi, M., Choirat, C. & Seri, R. The analytic hierarchy process and the theory of measurement. *Manage. Sci.* **56**, 699–711 (2010).
14. Saaty, R. W. The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Math. Model.* **9**, 161–176 (1987).
15. Dottorato, C. D. I. Università degli studi di padova. (2006).
16. Viana Vargas, R. Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) To Select and Prioritize Projects in a Portfolio. *PMI Glob. Congr.* 1–22 (2010).
17. Chmo Silvio Giove Correlatore Chma Profssa Stefania Funari Laureando, R. & Accademico, A. Utilizzo della metodologia Analytic Hierarchy Process (AHP) per la realizzazione di eventi culturali. (2012).
18. Khwanruthai, B. How to do AHP analysis in Excel. 1–21 (2012).
19. Dispense dal corso “Impianti ospedalieri e sicurezza”, Prof. Vismara e Cimolin
20. Dispense dal corso “Clinical technology assessment”, Prof. De Momi

21. Dispense dal corso "Healthcare management", Prof. Lettieri

## Sitografia

a) <https://www.arabhealthonline.com/en/overview/industry-insights/surge-hospitals-vital-part-of-strengthening-the-health-system-response-to-COVID-19.html>

b) <https://redshift.autodesk.it/ospedali-modulari/>.

c) [https://www.ilmattino.it/societa/persona/fedez\\_chiara\\_ferragni\\_gofundme\\_san\\_raffaele\\_terapia\\_intensiva\\_ultime\\_notizie\\_oggi\\_15\\_marzo\\_2020-5112569.html](https://www.ilmattino.it/societa/persona/fedez_chiara_ferragni_gofundme_san_raffaele_terapia_intensiva_ultime_notizie_oggi_15_marzo_2020-5112569.html)

d) <http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/glossario/vincolo-ambientale>