



POLITECNICO
MILANO 1863

SCUOLA DI INGEGNERIA INDUSTRIALE
E DELL'INFORMAZIONE

Caso studio di progettazione HVAC di un ospedale: riferimenti normativi e criteri di sostenibilità ambientale

TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA ENERGETICA

Autori: Besana Manuele, Esposito Mattia

Numero di matricola: 942222, 952692
Relatore: Professore Cesare Maria Joppolo
Co-relatore: Ingegnere Salvatore Rugiero
Anno Accademico: 2021-22

Ringraziamenti Mattia

Desidero ringraziare il professore Cesare Maria Joppolo, che mi ha dato la possibilità di approfondire gli argomenti trattati in questa tesi e la disponibilità sempre manifestata. Allo stesso modo desidero ringraziare Salvatore Rugiero e tutti i colleghi di RISE S.r.l., che in questi mesi ci hanno fornito continuo sostegno nel portare avanti il lavoro di tesi e mi hanno dato la possibilità di vivere in prima persona l'ambiente lavorativo.

Un ringraziamento speciale va alla mia famiglia, che mi ha sempre supportato in questo percorso universitario. A mio padre e mia madre che da sempre sono una certezza nella mia vita e nei momenti accademici più difficili, mi hanno dato la forza di continuare su questa strada e di portare a termine questo percorso. A mia sorella che ha sopportato la luce accesa in camera fino a tarda notte, perché dovevo finire di ripassare il giorno prima dell'esame. Ai miei prozii Piero e Renza che mi hanno cresciuto come un nipote.

Un pensiero va soprattutto a mia nonna, venuta a mancare pochi mesi fa, che vorrei fosse qui a gioire con me in questo momento di felicità. Lei ha saputo addolcire i momenti più aspri con la sua tenerezza e dolcezza: ogni volta che tornavo a casa dopo un esame, trovavo lei a casa, in attesa di un esito positivo al mio esame.

E anche quando l'esame non andava bene, lei mi alleggeriva la coscienza con un sorriso.

Un grazie a tutti i miei amici. Ai Canidi: Zop, Nico, Simo e Teoh con cui sono cresciuto e condivido gran parte della mia vita. La distanza e la frequenza con cui ci vediamo, non intacca la forza del legame che ci unisce. Ai compagni di università, con i quali ho passato anni a condividere sabati sera sui libri, snack "comprati" alle macchinette, caffè dal sapore discutibile, tante partite a ping-pong e altrettante bottiglie di vino. *Primus inter pares*, Bes, amico prima che compagno di università, che ha saputo supportarmi supportarmi nella stesura di questa tesi e a cui voglio ricordare che le canzoni a volte diventano realtà (vedi discografia di Antonello Venditti).

Infine, voglio ringraziare Alice, per farmi stare bene, per tirare fuori il meglio di me e per avermi dato l'energia necessaria per finire la laurea magistrale, perché senza di lei non sarei riuscito ad arrivare a questo traguardo.

Ringraziamenti Manuele

Desidero ringraziare il professore Cesare Maria Joppolo, per avermi dato la possibilità di compiere questo lavoro di Tesi e per la sua disponibilità. Desidero ringraziare l'ingegnere Salvatore Rugiero per il supporto e per avermi permesso di vivere l'ambiente lavorativo della progettazione termotecnica, nonché tutti i colleghi di RISE S.r.l., che in questi mesi ci hanno sostenuto e consigliato in questo lavoro.

Questo traguardo lo dedico alla mia famiglia, cugini e zii ma soprattutto a mio padre, l'unico che è sempre stato accanto a me in questo percorso pieno di insidie ed ostacoli. Mi ha sempre incoraggiato ed ha sempre creduto in me più di ogni altro (anche più di me stesso, a volte), sostenendomi con la stessa coppia e tenacia di un Iveco Turbostar.

Un ringraziamento va a tutti i miei amici e compagni di università con i quali ho condiviso bei momenti in questo percorso così impegnativo, ma soprattutto ai miei amici più stretti. Una menzione d'onore va a Deiz, solida garanzia da anni, sempre presente nel bene e nel male attraverso mille peripezie e anche a Marione, in prima linea da quando lavoravamo come braccianti nei campi e sempre pronto a motivarmi per dare il massimo con consigli a volte strampalati ma di cuore.

Un grazie gigantesco al mio socio di Tesi amico fidato Mattia, instancabile guerriero con cui ho condiviso momenti difficili ma anche di divertimento e leggerezza in questi anni impegnativi.

Un ringraziamento speciale a Valeria, che mi incoraggia e supporta sempre con determinazione, pazienza e una squintalata di grinta, aiutandomi a ritrovare il sorriso nei periodi di stress e consigliandomi sempre con la testa ma soprattutto con il cuore.

Un ringraziamento ai compagni di allenamento ed amici della B-Lift, che mi hanno aiutato in questi anni a scaricare la tensione ma anche dato nuovi modi di vedere alcuni aspetti della vita.

Concludo i ringraziamenti con la persona più speciale, che non c'è più, ma che ho sempre sentito accanto a me in questi anni e che più di tutte avrebbe gioito nel vedermi tagliare questo traguardo. A lei dico: "Hai visto? Te lo avevo promesso."

Abstract

The recent global pandemic caused by the SARS-cov-2 virus has highlighted how being able to guarantee high standards of air quality is vital for the health of people inside buildings. This issue is however of great interest even in non-pandemic contexts since the adoption of a more sedentary lifestyle and work than in the past have led the world's population to spend more time indoors during the recent decades.

From an engineering point of view, this theme translates into an increasingly accurate and careful plant design.

The first aim of this discussion is to develop the design of HVAC systems for a hospital facility, environment in which issues related to the prevention of indoor air contamination (in particular for bacteriological reasons) turns out to be a real and well-known problem.

Starting from the reference standards for hospital design in Italy (UNI 10339, DPR 14/01/1997, UNI 11425) a comparison will be made with the German standard DIN 1946-4 and the American standard ASHRAE 170: the aim is to determine the level of quality achieved in terms of filtration and management of contaminants present in the indoor air by a design that follow the legislative dictates and the Italian regulatory references, compared with other realities.

With regard to the issue of indoor air quality, the technical standards analyzed provide for definition of filtration levels, to prevent or minimize the access of the main external contaminants inside the building; in addition, in order to reduce the concentration of internal contaminants (generated mainly by occupants or furnishings, such as bioeffluents and/or VOCs) they impose requirements on the minimum hourly changes to be made in order to facilitate dilution with external air. Such strategy derives from the assumption from the norms of lower concentrations of these contaminants in the air than in the air. These methods allow to manage the indoor air quality, trying to minimize the main problems in the hospital environment, such as nosocomial infections and the protection of hospital staff.

In a practical context, the project was planned, albeit at a preliminary level, of the HVAC plant of a public hospital located in Southern Italy (due to the

confidentiality requested by the client, it is not possible to quote the references of the project) touching the main points of a design process:

- Definition of internal and external reference temperatures;
- Definition of the stratigraphies constituting the building envelope;
- Dynamic analysis of sensitive loads through the IES VE software;
- Choice of the type of HVAC systems suitable for the application;
- Sizing of certain ventilation equipment (Air Handling Unit, and selection of the machines present in the thermal power station).

In addition to the technical standards and requirements mentioned, in the international design landscape were analyzed some of the main protocols of building environmental sustainability. These standards, issued by private bodies and applied on a voluntary basis, have been analyzed because they are placed as tools for environmental quality assessment, including the treatment of indoor air quality.

The second purpose of this Thesis is, therefore, to ascertain if the use of one or more environmental sustainability protocols, which pursue and reward virtuous solutions in terms of indoor air quality, makes a real contribution to the improvement of technical solutions and consequently to the results with respect to a standard Italian case, or whether their contribution is simply that of highlighting, through communication, results that the design would reach even without their help.

In this thesis will be compared the main aspects from the point of view of indoor air quality envisaged by more widespread worldwide environmental sustainability (e.g. LEED, BREEAM and WELL) with the requirements of traditional design.

Key-words: HVAC system, hospital, indoor air quality, LEED, BREEAM, WELL.

Abstract in italiano

La recente pandemia globale causata dal virus SARS-CoV-2 ha evidenziato come il poter garantire elevati standard di qualità dell'aria sia di vitale importanza per la salute delle persone all'interno degli edifici. Questa tematica è tuttavia di grande interesse anche in contesti non pandemici, poiché l'adozione di uno stile di vita e lavorativo maggiormente sedentari rispetto al passato hanno portato la popolazione mondiale a trascorrere sempre più tempo al chiuso nel corso degli ultimi decenni.

Dal punto di vista progettuale, questo tema si traduce in una sempre più accurata ed attenta progettazione impiantistica.

Un primo obiettivo di questa trattazione è quello di sviluppare la progettazione dell'impiantistica HVAC per una struttura ospedaliera, ambiente nel quale le tematiche legate alla prevenzione della contaminazione dell'aria indoor (in particolare per cause batteriologiche) risultano essere una problematica reale e ben nota nella progettazione.

Partendo dalle normative di riferimento per la progettazione ospedaliera in Italia (UNI 10339^[1], DPR 14/01/1997^[2] e UNI 11425^[3]), si avvanzerà un confronto con la normativa tedesca DIN 1946-4^[4] e la normativa americana ASHRAE Standard 170^[5]: il fine è di determinare il livello qualitativo raggiunto in termini di filtrazione e gestione dei contaminanti presenti nell'aria interna da una progettazione che segua i dettami legislativi ed i riferimenti normativi italiani, comparata con le altre realtà internazionali.

In merito al tema della qualità dell'aria interna, gli standard tecnici analizzati prevedono la definizione di livelli di filtrazione, per impedire o minimizzare l'accesso dei principali contaminanti esterni all'interno dell'edificio; inoltre, al fine di ridurre la concentrazione dei contaminanti interni (ovvero generati principalmente dagli occupanti o dagli arredi, come bioeffluenti e/o composti organici volatili), essi impongono dei requisiti in merito ai minimi ricambi orari da effettuare per facilitarne la diluizione con aria esterna. Tale strategia deriva dall'assunzione da parte delle normative di minori concentrazioni di questi contaminanti presenti nell'aria esterna rispetto all'aria interna. Questi metodi permettono di gestire la qualità dell'aria interna, cercando di minimizzare i principali problemi nell'ambiente ospedaliero, quali le infezioni nosocomiali e la protezione del personale ospedaliero.

- Nel contesto pratico si è proceduto con la progettazione, seppur a livello preliminare, dell'impiantistica HVAC di un ospedale pubblico situato nel Sud Italia (data la riservatezza richiesta dalla committenza, non è possibile citare i riferimenti espliciti del progetto) toccando i punti principali di un iter progettuale, ossia:
 - Definizione delle temperature di riferimento interne ed esterne;
 - Definizione delle stratigrafie costituenti l'involucro edilizio;
 - Analisi dinamica dei carichi sensibili attraverso il software IES VE;
 - Scelta della tipologia di impianti HVAC adatti all'applicazione;
 - Dimensionamento di alcune apparecchiature inerenti alla parte di ventilazione (Unità di Trattamento Aria, e selezione delle macchine presenti nella centrale termica).

In aggiunta agli standard tecnici e requisiti citati, nel panorama progettuale internazionale sono stati analizzati alcuni dei principali protocolli di sostenibilità ambientale del costruito. Questi standard, emanati da enti privati e applicati su base volontaria, sono stati analizzati perché si pongono come strumenti per la valutazione della qualità ambientale, in cui è compresa la trattazione della qualità dell'aria interna.

Il secondo obiettivo di questa Tesi è, pertanto, quello di appurare se l'utilizzo di uno o più protocolli di sostenibilità ambientale, i quali perseguono e premiano soluzioni e comportamenti virtuosi in termini di qualità dell'aria interna, apporti un reale contributo al miglioramento delle soluzioni tecniche e di conseguenza ai risultati rispetto ad un normale caso italiano oppure il loro contributo è semplicemente quello di evidenziare, con gli strumenti della comunicazione, risultati a cui, di fatto, la progettazione arriverebbe anche senza il loro ausilio.

Nella presente trattazione si confronteranno gli aspetti principali dal punto di vista della qualità dell'aria interna previsti dai protocolli di sostenibilità ambientale più diffusi a livello mondiale, ovvero LEED, BREEAM e WELL con quanto previsto dalla progettazione tradizionale.

Parole chiave: impianto HVAC, ospedale, qualità dell'aria interna, LEED, BREEAM, WELL.

Indice

Ringraziamenti Mattia	i
Ringraziamenti Manuele	iii
Abstract	iv
Abstract in italiano	vi
Indice	ix
Introduzione	1
1 Normative di riferimento in Italia	3
1.1. UNI 10339	3
1.2. UNI 16798 – 3	5
1.3. Decreto del Presidente della Repubblica 14/01/1997	8
1.3.1. Sale operatorie	9
1.3.2. Sale Parto	9
1.3.3. Rianimazione e terapia intensiva	9
1.3.4. Medicina nucleare	10
1.3.5. Servizio di farmacia	10
1.3.6. Servizio di sterilizzazione	10
1.3.7. Camere mortuarie	11
1.3.8. Servizio di disinfezione	11
1.4. UNI 11425	11
1.4.1. Impianto HVAC per sale operatorie	12
1.4.2. Tutela degli occupanti del Blocco Operatorio.....	14
1.5. Criteri Ambientali Minimi.....	17
2 DIN 1946 – 4	20
2.1. Caratteristiche generali di ventilazione.....	20

2.2.	Classificazione ambienti ospedalieri	21
2.2.1.	Zona di classe I	21
2.2.2.	Reparto Operatorio	22
2.2.3.	Zona di classe II	22
2.3.	Ventilazione e condizionamento aria	22
2.4.	Unità di Trattamento Aria	24
2.4.1.	Caratteristiche generali.....	24
3	ASHRAE/ANSI/ASHE 170-2021	27
3.1.	Struttura	27
3.2.	Sistemi e apparecchiature.....	27
3.3.	Progettazione delle Unità di Trattamento Aria.....	28
3.4.	Filtrazione	30
3.5.	Sistemi di riscaldamento e raffrescamento	30
3.6.	Sezioni di Umidificazione	31
3.7.	Sistemi di recupero energetico (ERS).....	32
3.8.	Ventilazione degli spazi.....	32
3.8.1.	Locali farmaceutici	33
3.8.2.	Reparto infettivi (AII: Airborne Infectious Isolation)	34
3.8.3.	Sale PE (Protect Environment)	34
3.8.4.	Sale Operatorie (OR), chirurgichee radiologia.....	35
3.9.	Spazi di supporto.....	36
3.9.1.	Obitori e sale autoptiche.....	36
4	Analisi comparativa delle normative	37
5	Progettazione tecnica	41
5.1.	Costruzione del modello	41
5.2.	Stratigrafie	44
5.3.	Modelli termici degli ambienti	49
5.4.	Scelta degli ombreggiamenti.....	52
5.5.	Caratterizzazione impiantistica.....	55

5.6.	Scelta delle unità di trattamento aria	61
5.7.	Sala Operatoria.....	71
5.8.	Mappa dei flussi nel Blocco Operatorio	73
5.9.	Conversione di ambulatori e degenze	75
5.10.	Centrale Termica.....	75
6	Protocolli di sostenibilità ambientale	79
6.1.	LEED v.4	79
6.1.1.	Prerequisiti	81
6.1.2.	IEQ-c1: Strategia avanzate per la qualità dell'aria interna	82
6.1.3.	IEQ-c1: Strategia avanzate aggiuntive per la qualità dell'aria interna	84
6.1.4.	IEQ-c2: Materiali basso emissivi	86
6.1.5.	IEQ-c3: Piano di gestione della costruzione e della Qualità dell'aria interna.....	89
6.1.6.	IEQ-c4: Certificazione della qualità dell'aria interna.....	90
6.2.	BREEAM New Construction 2016.....	91
6.2.1.	Hea 02 - Indoor Air Quality	92
6.3.	WELL v.2.....	97
6.3.1.	Prerequisiti	98
6.3.2.	Ottimizzazioni	99
6.3.3.	LEED: Applicazione al caso studio.....	104
6.3.4.	BREEAM: Applicazione al caso studio	108
6.3.5.	WELL: Applicazione al caso studio	110
7	Analisi comparativa dei protocolli	114
8	Conclusioni.....	116
9	Bibliografia.....	119
	Appendice A – Confronto classificazione dei filtri	123
	EN 779 - 2012.....	123
	EN ISO 16890 - 2018	124
	ASHRAE Standard 52.2 - 2017	125

Lista delle figure	129
Lista delle tabelle.....	131

Introduzione

In un documento del U.S. Environmental Protection Agency, *“The total exposure assessment methodology (TEAM) study: Summary and analysis”*, viene dichiarato che la popolazione americana, in media, trascorre circa il 90% del proprio tempo al chiuso, questa percentuale aumenta ancora di più se si parla di anziani e persone con malattie cardiovascolari o respiratorie, ovvero soggetti più suscettibili agli effetti negativi derivanti dall'esposizione ai contaminanti ambientali.

La qualità dell'aria interna è fondamentale per il benessere degli occupanti: questo tema, in ambito termotecnico, si traduce in una progettazione impiantistica sempre più attenta.

L'ottenimento di elevati standard di qualità dell'aria è un aspetto di un'importanza ancora più cruciale in un ambiente ospedaliero rispetto a una qualsiasi altra tipologia di utilizzo dell'edificio, perché si pone come target il raggiungimento di un ambiente che contribuisca alla guarigione di persone potenzialmente fragili, nonché a tutelare il personale che vi lavora.

In quest'ottica la tesi si pone l'obiettivo di trattare la progettazione di un impianto HVAC di un ospedale dal momento che numerosi contaminanti batterici e virali utilizzano l'aria ed il particolato in essa contenuto come vettori principali per diffondersi. Il tema passa dal punto di vista teorico dall'adozione di requisiti ben precisi stabiliti dalle normative italiane ed internazionali.

Un obiettivo di centrale importanza che deve porsi la progettazione ospedaliera è la prevenzione delle infezioni nosocomiali (in inglese Hospital Acquired Infections, sigla HAI), ovvero infezioni contratte all'interno della struttura, che potrebbero interessare i pazienti a seguito del ricovero. Le infezioni nosocomiali sono associate alla presenza all'interno dell'edificio di contaminanti biologici e virali pericolosi per la salute umana: le più diffuse senz'altro sono le infezioni del sito chirurgico (in inglese Surgical Site Infection, sigla SSI). Un altro aspetto centrale è la protezione del personale ospedaliero dall'esposizione professionale ad agenti patogeni. In questo studio si vuole capire se e con che modalità queste tematiche sono toccate dalle normative e dai protocolli ambientali di sostenibilità.

In Italia lo standard tecnico che definisce i requisiti minimi impiantistici per l'accreditamento ospedaliero è il DPR 14/01/1997, integrato dalla normativa UNI 10339/95. Ad essi si affiancano delle richieste specifiche aggiuntive per il blocco operatorio, presentate nella norma UNI 11425 del 2011, integrate con le linee guida

del 2009 dall'INAIL (ex ISPESL)^[6] (Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza sul Lavoro). Il contenimento dei VOCs è invece uno dei temi affrontati in Italia attraverso l'adozione dei Criteri Ambientali Minimi (CAM).

Per condurre un'analisi completa, a seguito della presentazione dei riferimenti italiani, sono state analizzate le prescrizioni presenti nelle norme attualmente più utilizzate a livello internazionale, ovvero la normativa tedesca DIN 1946-4 e la normativa americana ASHRAE Standard 170. Per la trattazione sulla qualità dell'aria interna, si è deciso di analizzare il problema considerando come indicatori chiave di prestazione (KPI = "Key Performance Indicators") i seguenti parametri:

- Minimi ricambi d'aria per tipologia di ambiente;
- Livello di filtrazione richiesto per tipologia di ambiente;
- Requisiti di pressione da imporre negli ambienti per la gestione dei flussi d'aria.

Il rispetto di minimi ricambi orari consente la diluizione dei contaminanti presenti e generati all'interno dell'edificio con aria proveniente dall'ambiente esterno e l'adozione di classi di filtrazione elevate consentendo di arrestare o minimizzare l'ingresso all'interno dell'edificio dei contaminanti prodotti all'esterno.

In questa tesi, nell'ambito della qualità dell'aria interna, si vogliono analizzare complementariamente i protocolli di sostenibilità ambientale, per capire se essi forniscono una trattazione più dettagliata ai fini dell'obiettivo principale: capire se, seguendo una progettazione standard di un impianto HVAC ospedaliero in Italia, i protocolli di sostenibilità internazionale forniscono realmente un valore aggiunto ai temi più importanti nella progettazione di un ospedale.

All'interno dei protocolli di sostenibilità è centrale l'analisi dei composti organici volatili ("VOCs"), ovvero sostanze potenzialmente dannose per la salute umana rilasciate dalle attrezzature, dagli oggetti e dai materiali presenti all'interno degli edifici: questo tema verrà analizzato al fine di capire se, per un ambiente ospedaliero, ha realmente un ruolo centrale nella trattazione della qualità dell'aria interna.

1 Normative di riferimento in Italia

1.1. UNI 10339

Il principale riferimento in Italia per la progettazione di impianti HVAC è sicuramente la norma UNI 10339 del 1995, la quale rappresenta un testo di semplice consultazione e ampiamente collaudato nella pratica.

La presente norma fornisce la classificazione degli impianti e la definizione dei loro requisiti minimi, si applica agli impianti aerulici destinati al benessere delle persone per differenti tipologie di edifici, ciascuno dei quali ha requisiti differenti. La normativa definisce per garantire la qualità dell'aria degli ambienti indoor i valori inerenti ai minimi ricambi orari, alle minime classi di filtrazione e vincoli di velocità per l'immissione dell'aria. Per quanto riguarda i minimi ricambi orari, essa prevede il rispetto dei seguenti valori per le tipologie di ambienti ospedalieri indicate:

Tabella 1 - Valori minimi di portata di aria esterna secondo UNI 10339/95

OSPEDALI E ASSIMILABILI	Q_{op} [10^{-3} m ³ /s per persona]	Q_{op} [10^{-3} m ³ /s per persona]
Degenze (2-3 letti)	11	-
Corsie	11	-
Camere sterili	11	-
Camere per infettivi		-
Sale mediche/soggiorni	8,5	-
Terapie fisiche	11	-
Sale operatorie	-	
Servizi	estrazioni	

Come si può notare, i valori minimi di portata di aria esterna sono funzione dell'affollamento dei locali, il quale, qualora non fosse noto al momento del progetto, è possibile essere assunto tramite le indicazioni contenute nell'Appendice informativa A della normativa. Per i locali non indicati, la decisione viene lasciata al progettista.

Per quanto riguarda i requisiti dei dispositivi filtranti, la normativa UNI 10339 indica i seguenti valori:

Tabella 2 - Requisiti minimi di filtrazione secondo UNI 10339/95

OSPEDALI E ASSIMILABILI	Classe di filtro		Efficienza del filtro
	Min	Max	
Degenze (2-3 letti)	6	8	M + A
Corsie	6	8	M + A
Camere sterili	10	11	M + A + AS
Maternità, sale anestesia, radiologie	10	11	M + A + AS
Sale operatorie	11	12	M + A + AS
Ambulatori	6	8	M + A
Soggiorni, terapie fisiche	6	8	M + A

Classe	Efficienza del filtro E	Campo di efficienza %
1	M	$E < 65$
2	M	$65 \leq E < 80$
3	M	$80 \leq E < 90$
4	M	$90 \leq E$
5	A	$40 \leq E < 60$
6	A	$60 \leq E < 80$
7	A	$80 \leq E < 90$
8	A	$90 \leq E < 95$
9	A	$95 \leq E$
10	AS	$95 \leq E < 99,9$
11	AS	$99,9 \leq E < 99,97$
12	AS	$99,7 \leq E < 99,9$
13	AS	$99,99 \leq E < 99,999$
14	AS	$99,999 \leq E$

Come si può notare dalle tabelle riportate, è prevista una filtrazione a tre stadi per i locali che necessitano di essere maggiormente protetti dalla contaminazione (per i quali si rende necessario l'utilizzo di un filtro assoluto da posizionare sul terminale ambiente), mentre è indicata una doppia filtrazione (pre-filtro e filtro) per le rimanenti tipologie di locali trattate.

La normativa indica anche delle velocità ammissibili per l'immissione dell'aria, la quale impatta sull'efficienza della ventilazione e non deve creare situazioni di discomfort per gli occupanti. Sono pertanto indicati come valori ammissibili

velocità comprese tra 0,05 m/s e 0,15 m/s per la quasi totalità degli ambienti, ad eccezione delle terapie fisiche, per le quali sono ammessi valori di velocità superiori (fino a 0,25 m/s in raffrescamento).

1.2. UNI 16798 – 3

La normativa europea EN 16798-3 si applica alla progettazione, alla prestazione energetica degli edifici e all'implementazione di sistemi di ventilazione, condizionamento degli ambienti per edifici non residenziali. Le linee guida per la progettazione fornite in questa norma europea sono applicabili ai sistemi di ventilazione meccanica. In particolare, la presente normativa costituisce il punto di riferimento della scelta della filtrazione per le unità di trattamento aria per l'ambito non residenziale.

La filtrazione dell'aria esterna deve essere determinata per soddisfare i requisiti di qualità dell'aria interna dell'edificio, tenendo conto del proprio grado di inquinamento, ed è opportuno che avvenga secondo un principio di ottimizzazione, considerando l'applicazione specifica (tempo di funzionamento, carico di particolato, contesto di inquinamento locale, ecc.).

La normativa EN 16798-3 definisce la qualità dell'aria basandosi sulle concentrazioni limite di contaminanti (sulle 24 ore) indicate all'interno delle Linee Guida dell'OMS^[7], riportate nella tabella seguente:

Tabella3– concentrazionilimite dei contaminanti indoor secondo EN16798-3

Contaminante	Limite OMS [mg/m ³]
PM _{2.5}	0,015
PM ₁₀	0,045
O ₃	0,1 ^a
NO ₂	0,025
SO ₂	0,04
CO	0,004

^alimite sulle 8 ore

La normativa prevede la definizione di 3 classi di qualità dell'aria esterna in base alle concentrazioni di contaminanti presenti:

- ODA 1, ovvero aria esterna avente una composizione chimica che soddisfa le Linee Guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità e qualsiasi norma o regolamento nazionale sulla qualità dell'aria per l'aria esterna;
- ODA 2, aria nella quale le concentrazioni di contaminanti superano le Linee Guida dell'OMS o qualsiasi norma o regolamento nazionale sulla qualità dell'aria per l'aria esterna di un fattore fino a 1,5;
- ODA 3, definizione utilizzata quando le concentrazioni di inquinanti superano le Linee Guida dell'OMS o qualsiasi norma o regolamento nazionale sulla qualità dell'aria per l'aria esterna di un fattore maggiore di 1,5.

Anche l'aria di mandata viene caratterizzata in modi differenti in base alla concentrazione di inquinanti presenti, con le seguenti nomenclature:

- SUP1, ovvero aria di mandata che soddisfa i valori limite delle Linee Guida dell'OMS e qualsiasi valore limite o regolamento delle norme nazionali sulla qualità dell'aria con un fattore di sicurezza 0,25;
- SUP2, se soddisfa i valori limite delle Linee Guida dell'OMS e qualsiasi valore limite o regolamento nazionale di qualità dell'aria con un fattore di sicurezza 0,5;
- SUP3, se soddisfa i valori limite delle Linee Guida dell'OMS e qualsiasi valore limite o regolamento delle norme nazionali sulla qualità dell'aria con un fattore di sicurezza 0,75;
- SUP4, se soddisfa i valori limite delle Linee Guida dell'OMS e qualsiasi valore limite o regolamento degli standard nazionali di qualità dell'aria;
- SUP5, se supera i valori limite delle Linee Guida dell'OMS e qualsiasi valore limite o regolamento nazionale di qualità dell'aria con un fattore 1,5.

A seconda del livello di inquinamento dai contaminanti esterni e della qualità dell'aria di mandata desiderata, sono necessari diverse classi di filtrazione. L'efficienza di filtrazione richiesta può essere ottenuta utilizzando una filtrazione a uno o più stadi, si parla pertanto di efficienza combinata di filtrazione ed è calcolata con la formula seguente:

Equazione 1 - Calcolo dell'efficienza combinata di filtrazione secondo 16798-3

$$E_t = 100 * \left(1 - \left(\left(1 - \frac{E_{s1}}{100} \right) * \left(1 - \frac{E_{s2}}{100} \right) * \dots * \left(1 - \frac{E_{sm+1}}{100} \right) \right) \right)$$

In cui:

E_t : Efficienza combinata di filtrazione;

$E_{s,n}$: Efficienza di filtrazione dello stadio n-esimo, espressa in accordo con la normativa EN 779

La normativa EN 16798-3 riporta i seguenti valori di efficienza di filtrazione combinata minima:

Tabella4–Requisiti di minima efficienza di filtrazione secondo 16798-3

Qualità dell'aria esterna	Classe di qualità dell'aria di mandata				
	SUP 1	SUP 2	SUP 3	SUP 4	SUP 5
ODA 1	88%	80%	80%	80%	Non specificata
ODA 2	96%	88%	80%	80%	60%
ODA 3	99%	96%	92%	80%	80%

Nei casi in cui sia richiesto un livello di qualità dell'aria di alimentazione pari a SUP 1 o SUP 2 e in cui la composizione chimica dell'aria esterna sia di livello ODA 2 o ODA 3 è raccomandabile l'implementazione della filtrazione con l'impiego di un'adeguata filtrazione specifica per gas, per ridurre i livelli nocivi di CO, NO_x, SO_x, VOC e O₃.

Occorre prestare particolare attenzione all'ermeticità sia dell'involucro dell'edificio che delle unità di trattamento dell'aria, soprattutto se si utilizzano filtri di classe F7 o superiore.

In caso di filtrazione a due stadi, il primo filtro dovrà essere posizionato a monte delle batterie di trattamento aria ed il secondo a valle.

In caso di classificazione dell'aria esterna ODA 3 (zone altamente industrializzate, situate nei pressi di aeroporti, ecc.) per alcune applicazioni può essere necessario il filtraggio elettrostatico.

Qualora l'aria esterna risulti essere inquinata solo temporaneamente, la normativa consente di dotare i filtri di un bypass (provvisto di serrande a tenuta di gas) per ridurre i consumi energetici e raccomanda di effettuare un monitoraggio continuo della qualità dell'aria.

Al fine di semplificare la scelta del filtro dell'aria per soddisfare le efficienze di rimozione delle particelle descritte nella tabella precedente, la normativa riporta anche una tabella riassuntiva dei filtri idonei, valida per le unità di trattamento aria:

Tabella5- Tabella di selezione dei filtri

Qualità dell'aria esterna	Classe dell'aria di mandata				
	SUP 1	SUP 2	SUP 3	SUP 4	SUP 5
ODA 1	M5+F7	F7	F7	F7	-
ODA 2	F7+F7	M5+F7	F7	F7	-
ODA 3	F7+F9	F7+F7	M6+F7	F7	F7

1.3. Decreto del Presidente della Repubblica 14/01/1997

Il regolamento di riferimento per l'accreditamento di strutture ospedaliere in Italia è il decreto ministeriale n.70 del 2 aprile 2015^[8], inerente alla definizione degli standard qualitativi, strutturali, tecnologici e quantitativi relativi all'assistenza ospedaliera.

Il Decreto n.70 rimanda, per la definizione degli standard generali di qualità impiantistici e tecnologici, al Decreto del Presidente della Repubblica ("DPR") del 14/01/1997.

Il DPR 14/01/1997 è intitolato “Approvazione dell’atto di indirizzo e coordinamento alle regioni e alle province autonome di Trento e di Bolzano, in materia di requisiti strutturali, tecnologici e organizzativi minimi per l’esercizio delle attività sanitarie da parte delle strutture pubbliche e private” ed ha valenza nazionale, ma le singole regioni possono decidere di applicare requisiti ulteriori qualora lo richiedano.

Le modalità per l’accertamento e la verifica del rispetto dei requisiti minimi, che deve avvenire con una periodicità almeno quinquennale, sono disciplinate dalle regioni.

1.3.1. Sale operatorie

Il DPR stabilisce dei requisiti minimi impiantistici specifici per le sale operatorie. È richiesto infatti che esse siano provviste di un impianto di condizionamento ambientale che assicuri le seguenti condizioni termoigrometriche, di ricambi orari minimi e di filtrazione:

- Temperatura interna invernale e estiva compresa tra 20-24°C;
- Umidità relativa estiva e invernale: 40-60%;
- Ricambi orari (aria esterna, senza ricircolo): 15 volumi/h;
- Efficienza di filtrazione dell’aria del 99,97%.

Deve inoltre essere presente un impianto di gas medicali, un impianto di aspirazione gas anestetici direttamente collegato alle apparecchiature di anestesia e doppie stazioni di riduzione della pressione per ogni gas medicale/tecnico, nonché tali da garantire un adeguato livello di affidabilità.

1.3.2. Sale Parto

I locali travaglio e parto devono essere dotati di condizionamento ambientale che assicurino le seguenti caratteristiche termoigrometriche e di ricambi orari minimi:

- Temperatura interna invernale ed estiva compresa tra 20-24°C;
- Ricambi orari (aria esterna, senza ricircolo): 6 volumi/ora.

Devono inoltre essere presenti, analogamente alle sale operatorie, un impianto di gas medicali, un impianto di aspirazione gas anestetici direttamente collegati alle apparecchiature di anestesia e doppie stazioni di riduzione della pressione per ogni gas medicale/tecnico, tali da garantire un adeguato livello di affidabilità.

1.3.3. Rianimazione e terapia intensiva

La terapia intensiva deve essere dotata di condizionamento ambientale che assicuri le seguenti caratteristiche termoigrometriche e di ricambi orari minimi:

-
- Temperatura interna estiva ed invernale compresa tra 20-24°C;
 - Umidità relativa estiva ed invernale: 40-60%;
 - Ricambi orari (aria esterna, senza ricircolo): 6 volumi/ora.

1.3.4. Medicina nucleare

Per i locali di medicina nucleare, nei quali vengono utilizzati radio farmaci e altri prodotti radioattivi, è richiesto che il locale adibito allo stoccaggio e alla manipolazione degli stessi sia a pressione negativa. Deve essere previsto un sistema di raccolta e monitoraggio degli effluenti per l'espulsione dei rifiuti liquidi radioattivi collegato con il servizio igienico destinato agli utenti iniettati con radiofarmaci e alla doccia zona filtro.

Deve essere presente un impianto di condizionamento che garantisca un adeguato ricambio d'aria e l'ottenimento di un gradiente di pressione negativo rispetto agli ambienti circostanti. I filtri da adottare per l'estrazione devono essere assoluti.

1.3.5. Servizio di farmacia

Il servizio di farmacia, se presente nella struttura, deve disporre di spazi per il deposito dei medicinali, dei presidi medico-chirurgici e degli specifici materiali di competenza. Da un punto di vista impiantistico è necessario che sia presente una cappa di aspirazione forzata e che siano garantite le seguenti condizioni termoigrometriche, di ricambi orari e di filtrazione:

- temperatura deve essere tra i 20-26°C;
- umidità relativa tra il 45 ed il 55%;
- Ricambio orario di aria esterna di almeno 2 volumi/ora;
- La filtrazione deve avvenire almeno con filtri a media efficienza.

1.3.6. Servizio di sterilizzazione

Il servizio di sterilizzazione deve disporre di un impianto che garantisca le seguenti condizioni termoigrometriche e di ricambi orari minimi:

- temperatura tra 20-27°C;
- umidità relativa tra 40-60% ;
- minimi ricambi orari di aria esterna pari a 15 volumi/ora.

Deve inoltre essere dotato di illuminazione di emergenza e di un impianto per l'aria compressa.

1.3.7. Camere mortuarie

Il servizio mortuario deve avere un impianto che garantisca le seguenti condizioni termoigrometriche e di ricambi orari minimi:

- temperatura di 18°C per i locali con presenza di salme;
- umidità relativa tra 55 e 65%;
- minimi ricambi orari di aria esterna pari almeno a 15 volumi/ora.

1.3.8. Servizio di disinfezione

Il servizio di disinfezione deve garantire spazi per il trattamento degli effetti personali, della biancheria e dei materiali infetti. Deve garantire le seguenti condizioni termoigrometriche e di minimi ricambi orari:

- temperatura tra 20-27°C;
- umidità relativa tra 40-60%;
- minimi ricambi orari di aria esterna pari a 15 volumi/ora.

Deve essere previsto anche un impianto per l'aria compressa.

1.4. UNI 11425

In aggiunta alle normative presentate, la legislazione tecnica italiana prevede una normativa dedicata alla corretta progettazione HVAC specifica per gli ambienti del blocco operatorio, ovvero la UNI 11425 del 2011. Questa norma fornisce le indicazioni per la progettazione, l'installazione, la messa in marcia dell'impianto e la gestione dei componenti che concorrono al controllo della contaminazione ambientale, al fine di garantire la salvaguardia della salute del personale operante e dei pazienti presenti.

Prima dell'avvento della normativa UNI 11425, tematiche analoghe erano state approfondite all'interno delle "Linee Guida sugli standard di sicurezza ed igiene sul lavoro" emanate dall'INAIL (ex ISPESL, organismo tecnico del S.S.N.) nel 2009.

1.4.1. Impianto HVAC per sale operatorie

La normativa richiede che l'impianto di ventilazione e condizionamento del reparto operatorio debba essere a contaminazione controllata ("VCCC") ed in grado di assolvere alle seguenti funzioni:

- Mantenimento delle condizioni termoigrometriche di progetto;
- Raggiungimento di ricambi orari adeguati al fine di controllare le concentrazioni ambientali di agenti anestetici, e/o di altri inquinanti gassosi, (la presenza di un impianto VCCC non elimina, tuttavia, la necessità di un sistema di evacuazione degli agenti anestetici);
- Contenimento del particolato e della carica microbica trasportata dall'aria, in modo tale da non recare danno alla salute dei soggetti presenti nell'ambiente della sala operatoria;
- Mantenimento della pressione differenziale tra i vari ambienti costituenti il Reparto Operatorio.

Tutti i componenti dell'impianto (compresa l'Unità di Trattamento Aria) devono essere progettati ed installati in modo da facilitare la pulizia, la gestione, il controllo e la manutenzione, inclusa la sostituzione dei filtri, i quali dovranno essere posizionati subito prima delle griglie di immissione.

L'impianto deve prevedere l'utilizzo di sistemi di misura dei parametri indicativi del suo corretto funzionamento al fine di individuare con anticipo possibili situazioni di rischio. È quindi auspicabile l'installazione di dispositivi che permettano di visualizzare temperatura, umidità, portata d'aria e pressioni relative.

L'impianto VCCC deve garantire sempre almeno l'unità di ventilazione, anche in caso di interruzione di energia elettrica; pertanto, dovrà prevedere un'alimentazione di sicurezza secondaria. È permesso, al fine di ridurre i consumi energetici, farlo funzionare a portate ridotte qualora i locali non siano occupati (per esempio nelle ore notturne), a patto che siano garantiti il mantenimento delle pressioni differenziali e le condizioni igieniche previste.

Al fine di ridurre il rischio di contaminazione proveniente dall'ambiente esterno, è richiesto che la presa d'aria dell'UTA sia posizionata opportunamente per limitare

l'ingresso di contaminanti esterni, distante da sezioni di espulsione dell'aria esausta, e comunque orientata in posizione tale da non generare "cortocircuiti" con la fuoriuscita di fumi, gas ed altri contaminanti provenienti da altre fonti.

Ai fini del raggiungimento della qualità dell'aria richiesta, le condizioni termoigrometriche devono sempre garantire il benessere del personale e dei pazienti, facendo eccezione per alcune situazioni attività chirurgiche in cui siano richieste condizioni differenti (quali ad esempio ipotermia o ipertermia). Il rispetto di questa pratica consente infatti di limitare la sudorazione del personale e quindi, di riflesso, la generazione di particelle biologicamente attive. Occorre pertanto che i valori limite previsti siano rispettati tenendo conto delle condizioni climatiche medie della zona.

Gli ambienti del Reparto Operatorio devono essere tenuti a pressione positiva rispetto ai reparti adiacenti. All'interno del reparto le pressioni relative varieranno (di almeno 5 Pa) da locale a locale in funzione del grado di pulizia del locale stesso.

Per quanto riguarda la filtrazione, sono richiesti dalla UNI 11425 tripli stadi filtranti, aventi le seguenti caratteristiche prestazionali (espresse in accordo con EN 779⁽⁹⁾):

- Filtrazione primaria dell'aria esterna con filtro di efficienza almeno F6;
- Filtrazione secondaria di efficienza F9 (fine) interessante tutta l'aria in circolo;
- Filtrazione finale HEPA (assoluta) interessante tutta l'aria in circolo. (l'aria può essere ricircolata, a patto che provenga dallo stesso ambiente e subisca gli stadi filtranti secondari e finali)

Per monitorare l'intasamento degli elementi filtranti, devono essere installati manometri differenziali.

La contaminazione particellare dell'aria della sala operatoria è prevalentemente correlata con la ventilazione, la quale deve garantire il lavaggio dell'aria ambiente con la fornitura di aria esterna e, come visto in precedenza nel corso di questa trattazione, Il D.P.R. 14/1/1997 prescrive per le sale operatorie un numero di minimi ricambi orari di sola aria esterna di 15 vol/h.

Data la delicata funzione di diluizione dei contaminanti, è possibile ottenere un numero maggiore di ricambi d'aria aggiungendo adeguate quantità di aria tramite ricircolazione.

La norma UNI 11425 definisce anche dei requisiti relativi all'immissione dell'aria. Nelle sale operatorie la ventilazione può essere unidirezionale, unidirezionale parziale o non unidirezionale (a miscelazione).

Si ha flusso unidirezionale parziale quando il flusso unidirezionale è a protezione soltanto delle zone critiche (es. area contenente il campo operatorio).

Per sale operatorie con particolari esigenze di controllo della contaminazione aeroportata, adibite ad esempio ad interventi di cardiocirurgia, ortopedia, neurochirurgia, chirurgia vascolare, le Linee Guida dell'INAIL consigliano la ventilazione unidirezionale. Nel caso di flusso unidirezionale verticale, la sezione filtrante dovrebbe avere una superficie sufficiente a mantenere sotto flusso unidirezionale l'intero campo operatorio e il tavolo servitore (circa 9,0 m²).

Nel caso di distribuzione a flusso unidirezionale, sia parziale che totale, la quantità dei ricambi orari all'interno della zona direttamente interessata dalla colonna d'aria dell'impianto è notevolmente superiore ai 15 previsti dal DPR 14/01/1997, con velocità residue dell'aria sugli operatori/pazienti comprese tra 0,20 e 0,40 m/s. Velocità così elevate impongono un grado di sotto raffreddamento dell'aria immessa molto basso (3 - 4°C).

1.4.2. Tutela degli occupanti del Blocco Operatorio

Gli operatori del Blocco Operatorio sono solitamente esposti a tre tipologie di rischi: rischi determinati da agenti fisici, da agenti chimici e da agenti biologici. Per il contenimento di ciascuna tipologia di rischio, è opportuno prestare la massima attenzione alla progettazione ed alla manutenzione dell'impianto HVAC, nonché applicare norme comportamentali di prevenzione e protocolli di sanificazione all'interno degli ambienti interessati.

1.4.2.1. Rischi da agenti fisici

Per garantire la salute del personale e dei pazienti, eventuali condizioni microclimatiche che potrebbero causare discomfort devono essere attentamente valutate nel rispetto dei limiti stabiliti da normative tecniche valide a livello internazionale (ad esempio secondo quanto previsto dalla norma UNI EN ISO 7730 del 2006^[10], relativa alla determinazione del benessere termico).

A prescindere dalla tipologia di diffusori ambiente, la velocità dell'aria dovrà essere gestita per non creare fastidi al personale esposto, garantendo al contempo

l'efficacia della ventilazione ed i ricambi d'aria orari prescritti dalla normativa vigente.

A livello impiantistico è opportuno, pertanto, prevedere un sistema che incorpori funzionalità di monitoraggio e controllo in grado di:

- Controllare i regimi di ventilazione in funzione delle condizioni operative sulla singola postazione operatoria;
- Poter monitorare in modo continuo lo stato dei parametri ambientali nelle zone controllate;
- Ridurre i consumi energetici manualmente o automaticamente mediante abbassamento delle portate (e quindi del regime di funzionamento dei ventilatori) in caso di inattività;
- Variare la percentuale di aria di rinnovo, rispetto a quella di ricircolo, nel caso si verifichi la necessità di ridurre le concentrazioni di inquinanti gassosi (facilitando la diluizione);
- Tenere sotto controllo le pressioni differenziali fra zona operatoria e locali adiacenti (per la verifica del mantenimento della sovrappressione rispetto agli ambienti esterni comunicanti).

Anche la presenza di particolato ambientale potrebbe costituire una problematica per il benessere psicofisico degli occupanti, tuttavia è ragionevole (date le esigue quantità attese, trattandosi di ambienti sterili) sostenere che il pericolo maggiore legato al particolato sia di tipo biologico (e non fisico), dato dal possibile ruolo di veicolo di agenti patogeni.

1.4.2.2. Rischi da agenti chimici

Il principale rischio chimico al quale sono esposti gli operatori all'interno delle sale operatorie deriva dall'utilizzo di gas anestetici, per i quali deve essere previsto un sistema di evacuazione dedicato per ragioni di sicurezza. Dovranno essere predisposti dei sensori in grado di riconoscere e monitorare varie sostanze inquinanti in contemporanea, quali protossido di azoto, agenti anestetici alogenati (Isoflurano, Sevoflurano, Desflurano etc etc), anidride carbonica, alcoli ed ossido nitrico (sostanza utilizzata in cardiocirurgia). I limiti per le concentrazioni di gas anestetici sono indicati all'interno della Circolare del Ministero della Sanità n. 5 del 14 marzo 1989 "Esposizione professionale ad anestetici in sala operatoria".

1.4.2.3. Rischi da agenti biologici

In aggiunta ai rischi fisici e chimici, vi è anche il rischio per gli operatori sanitari di contrarre patologie infettive (le più comuni e pericolose sono le epatiti B e C, l'HIV, la tubercolosi e la meningite). Riguardo a questo argomento, un tema importante è legato alle infezioni nosocomiali (infezioni associate all'assistenza

sanitaria, in inglese Hospital Acquired Infections): infezioni che non sono presenti o se presenti, in incubazione al momento del ricovero in ospedale, nel paziente.

Tra le diverse tipologie di infezioni nosocomiali, la più diffusa è senz'altro quella legata al sito chirurgico: alle volte possono essere infezioni superficiali, limitate all'epidermide; in altri casi possono invece essere più gravi e interessare tessuti sottocutanei o organi. L'OMS ha dichiarato che questa problematica costituisce un problema reale per milioni di pazienti ogni anno e contribuisce alla diffusione dell'antibiotico-resistenza^[11].

All'interno del Blocco Operatorio i contagi possono avvenire a seguito del contatto con materiali biologici, del possibile inquinamento ambientale (aereo, delle superfici) o della manipolazione di strumentazione o materiali contaminati. Sebbene tale problematica non riguardi solo gli ambienti del blocco operatorio, in esso è richiesta maggiore attenzione per quanto concerne le misure di prevenzione/protezione in relazione ad una più elevata esposizione a sangue e liquidi biologici rispetto ad altre attività, poiché si svolgono procedure lavorative maggiormente invasive.

Per ridurre il rischio di infezioni da sito chirurgico, si rende necessario definire dei protocolli di disinfezione ambientale ed igiene della sala operatoria.

La presenza di particolato di varia natura e dimensione può essere veicolo di microrganismi patogeni, i quali per sedimentazione o per impatto tramite i movimenti dell'aria, possono contaminare l'ambiente circostante e i soggetti presenti in sala operatoria. Poiché durante l'attività chirurgica tale particolato può determinare livelli elevati di contaminazione, ne consegue che lo stesso si possa considerare un fattore di rischio che deve essere eliminato o contenuto entro i valori più bassi conseguibili.

Le zone maggiormente a rischio di contaminazione e quindi di deposito del particolato e dei microrganismi risultano essere generalmente le superfici orizzontali, di conseguenza, è proprio verso di queste che si dovranno attuare più frequentemente le procedure di lavaggio, disinfezione ed eseguire periodicamente la necessaria manutenzione.

La normativa prevede di misurare la contaminazione particellare (di particelle di dimensione pari a 0,5 µm) e la contaminazione microbica dell'aria esterna su base semestrale. La valutazione della concentrazione di particelle in aria deve essere effettuata in condizioni di sala operatoria pronta ("at rest" = con sala operatoria allestita e in assenza di personale) riferendosi alle modalità ed ai valori soglia indicati dalla UNI EN ISO 14644-1^[12], la quale stabilisce dei limiti massimi di particolato a seconda della tipologia ISO della sala operatoria (da ISO 9 ad ISO 1, la quale ha i requisiti maggiormente stringenti).

All'interno della UNI 11425 non sono presenti indicazioni relative alla misurazione della contaminazione biologica ambientale, le quali possono essere rinvenute all'interno delle linee guida INAIL, che indica, per la determinazione dei microrganismi aerodispersi di seguire le metodologie della norma UNI EN 13098-2002^[13].

Per quanto riguarda i valori soglia dei microorganismi, espressi in Unità Formanti Colonie (UFC) all'interno delle sale operatorie, in Italia non esistono al momento attuale delle normative tecniche specifiche. Per rendere possibile una analisi critica dei risultati, è possibile utilizzare le indicazioni contenute nello specifico standard inglese "National Health Service - Health Technical Memorandum 2025" che prevede, in prossimità del tavolo operatorio, per sala operatoria convenzionale in condizioni "at rest", il valore soglia di 35 UFC/m³.

Il campionamento può avvenire anche a sala operatoria in funzione, secondo modalità analoghe, ma effettuato ad una altezza di un metro dal pavimento e nel raggio di circa un metro dalla ferita chirurgica.

Il campionamento deve cominciare all'inizio di un intervento chirurgico e dovrebbe rappresentare il valore medio ottenuto da minimo 7 prelievi di cui il primo effettuato in corrispondenza dell'inizio (taglio) ed i successivi nella fase operatoria dello stesso intervento, distanziati tra loro di 5 – 10 minuti in funzione della durata dell'intervento.

In prossimità del tavolo operatorio, lo standard inglese National Health Service - Health Technical Memorandum 2025 indica i seguenti valori limite per sala operatoria convenzionale in attività:

- 180 UFC/m³ con impianto VCCC a flusso turbolento;
- 20 UFC/m³ con impianto VCCC a flusso unidirezionale.

1.5. Criteri Ambientali Minimi

Come evidenziato nei paragrafi precedenti, la presenza di contaminanti generati negli ambienti indoor costituisce un ostacolo per il raggiungimento di elevati standard di qualità dell'aria interna. Oltre al particolato ed ai bioeffluenti, sono comunemente presenti nell'aria altri composti organici volatili potenzialmente pericolosi per la salute umana (denominati "VOCs"), normalmente rilasciati dai materiali e dalle attrezzature presenti negli ambienti.

In Italia i requisiti finalizzati alla riduzione di questa tipologia di contaminanti sono presenti all'interno dei Criteri Ambientali Minimi, la cui applicazione è stata resa obbligatoria con il D.Lgs 56/2017 alle stazioni appaltanti delle opere pubbliche, categoria di appalto nella quale ricade il caso studio ospedaliero.

I Criteri Ambientali Minimi (CAM), come citato nella pagina web dedicata del Ministero della Transizione Ecologica sono “i requisiti ambientali definiti per le varie fasi del processo di acquisto, volti a individuare la soluzione progettuale, il prodotto o il servizio migliore sotto il profilo ambientale lungo il ciclo di vita, tenuto conto della disponibilità di mercato. I CAM sono definiti nell’ambito di quanto stabilito dal Piano per la sostenibilità ambientale dei consumi del settore della pubblica amministrazione e sono adottati con Decreto del Ministro dell’Ambiente della Tutela del Territorio e del mare”.

Ad oggi sono state adottate 18 categorie di forniture ed affidamenti la cui trattazione esula dall’obiettivo di questa tesi ma che vengono citate per completezza:

- arredi (mobili per ufficio, arredi scolastici, arredi per sale archiviazione e sale lettura);
- edilizia (costruzioni e ristrutturazioni di edifici con particolare attenzione ai materiali da costruzione, costruzione e manutenzione delle strade);
- gestione dei rifiuti urbani e assimilati;
- servizi urbani e al territorio (gestione del verde pubblico, arredo urbano);
- servizi energetici (illuminazione, riscaldamento e raffrescamento degli edifici, illuminazione pubblica e segnaletica luminosa);
- elettronica (attrezzature elettriche ed elettroniche d’ufficio e relativi materiali di consumo, apparati di telecomunicazione);
- prodotti tessili e calzature;
- cancelleria (carta e materiali di consumo);
- ristorazione (servizio mensa e forniture alimenti);
- servizi di gestione degli edifici (servizi di pulizia e materiali per l’igiene);
- trasporti (mezzi e servizi di trasporto, sistemi di mobilità sostenibile).

Nei capitoli seguenti verranno messi a confronto i valori proposti dai CAM per quanto riguarda gli aspetti collegati alla qualità dell’aria interna degli ambienti, nello specifico entrando maggiormente nel dettaglio solo per le prime due categorie adottate dai CAM (arredi ed edilizia).

I CAM trattano il tema dei VOCs attraverso l’adozione del DM 11/10/2017^[14], che riporta dei valori soglia di emissione differenziati composto per composto. Queste emissioni vengono valutate per pitture e vernici, tessili per pavimentazioni e rivestimenti, laminati per pavimenti e rivestimenti flessibili, pavimentazioni e rivestimenti in legno, altre pavimentazioni (diverse da piastrelle di ceramica e

laterizi), adesivi e sigillanti e pannelli per rivestimenti interni (es. lastre in cartongesso).

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva presente nel capitolo 2.3.5. dei CAM:

Tabella 6 – Limiti di emissione richiesti dai CAM

Limite di emissione ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) a 28 giorni	
Benzene, tricloroetilene (trielina) di 2-etilesilftalato (DEHP), dibutilftalato (DBP)	1 (per ogni sostanza)
COV totali	1500
Formaldeide	<60
Acetaldeide	<300
Toluene	<450
Tetracloroetilene	<350
Xilene	<300
1,2,4 - Trimetilbenzene	<1500
1,4 - Diclorobenzene	<90
Etilbenzene	<1000
2-Butossietanolo	<1500
Stirene	<350

L'analisi della qualità dell'aria interna fatta attraverso i CAM risulta fondamentale poiché è la base per quanto riguarda il confronto dei valori dei contaminanti tra i protocolli internazionali e quelli "standard" adottati in una progettazione HVAC di un appalto pubblico in Italia.

Per una visione il più possibile completa la trattazione delle normative di riferimento non si esaurisce con quelle vigenti in Italia; per questo motivo si è deciso di approfondire questi temi attraverso due normative di riferimento nell'ambito: DIN 1946 – 4 e ASHRAE 170.

2 DIN 1946 – 4

Il DIN (Istituto tedesco per la standardizzazione) è un'organizzazione tedesca e attraverso la normativa DIN 1946-Parte 4 regola i requisiti minimi per i sistemi di condizionamento dell'aria per ridurre la contaminazione microbica negli edifici e negli ambienti del sistema sanitario, aspetto primario nel settore ospedaliero dove la sicurezza di tutti gli occupanti dipende fortemente da questi parametri.

In questo capitolo si andranno ad approfondire i temi principali trattati della normativa: ventilazione, classificazione degli ambienti ospedalieri, filtrazione e unità trattamento aria.

Si è deciso di seguire una trattazione della normativa in linea con l'ordine di esposizione presentato dalla normativa stessa.

2.1. Caratteristiche generali di ventilazione

La seguente sezione vuole introdurre gli aspetti principali trattati nella sezione relativa alla ventilazione.

La portata di ventilazione è calcolata in base ai carichi interni e ad altri parametri (umidità, rimozione dei contaminanti chimici sostanze odorose) specifici per ogni ambiente. Il valore di portata ottenuto non deve mai essere inferiore al valore corrispondente per tipologia di locale riportato nella norma DIN 1946-4, il quale rappresenta il valore minimo ammissibile. Pertanto, ne consegue che il valore da utilizzare sarà il maggiore tra questi due valori.

Qualora fosse previsto un ricircolo dell'aria interna con raffrescamento, essa deve sempre avere una doppia filtrazione, con un filtro avente classe di filtrazione $PM_{10} \geq 50\%$ in ingresso e un filtro avente classe di filtrazione $PM_{10} \geq 80\%$ in uscita. Inoltre, deve essere minimizzato il numero di porte che collegano aree di classe I e aree di classe II (si rimanda al Paragrafo successivo per la definizione delle suddette aree), per ridurre il trasporto d'aria e di contaminanti, prevedendo dove necessario delle camere di equilibrio (denominate "airlocks" o, in italiano, "bussole") così da salvaguardare l'integrità delle aree di classe I.

La temperatura e l'umidità relativa nei locali possono occasionalmente variare rispetto ai valori di riferimento per un periodo di tempo non superiore al 10% del periodo totale di utilizzo dell'impianto (riferimento alla DIN 4108-2^[15]) come, ad esempio, in caso di condizioni esterne eccezionali.

2.2. Classificazione ambienti ospedalieri

La presente normativa analizza diversi spazi ospedalieri, raccogliendoli in base a requisiti termoigrometrici richiesti in due classi:

- classe I, divisa in due sottoclassi Ia e Ib;
- classe II.

2.2.1. Zona di classe I

Si considerano zone di classe I tutti i locali che contengono sale operatorie in cui deve essere garantito un bilancio dell'aria positivo, cioè in cui la portata d'aria immessa è superiore alla portata d'aria estratta.

Nello specifico si dividono in due sottocategorie:

- Sale di classe Ia, sale operatorie con sistemi di ventilazione a flusso d'aria unidirezionale utilizzate per ottenere un'area protetta che comprenda la zona operatoria e tavoli strumentali sterili. Per garantire un flusso d'aria unidirezionale non devono essere previste finestre nei locali di classe I e nell'intero reparto operativo (ad eccezione in caso di evacuazione, aspirazione fumi, pulizia finestre). In questo spazio è presente un'area protetta centrale e necessita di un flusso d'aria verticale unidirezionale (laminare) che assicuri 300 ricambi d'aria all'ora (1/h), e quindi una riduzione superiore al 90 % della contaminazione batterica intra-operatoria rispetto a una sala operatoria di classe Ib. La tipologia del plafone filtrante deve essere del tipo "LTF" (Low Turbulence Flow), ovvero a bassa turbolenza, e per garantire l'efficacia della ventilazione, la sua area di pertinenza deve essere superiore rispetto a quella dell'area protetta sottostante e deve essere garantita una rimozione simmetrica dell'aria estratta;
- Sale di classe Ib, sale operatorie con sistemi di ventilazione non unidirezionale con un flusso d'aria in mandata superiore a $60 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{m}^2)$ (circa 20 volte il ricambio d'aria all'ora (1/h)). L'effetto di diluizione dipende dal flusso d'aria di mandata generato, dal tipo e dalla disposizione dei dispositivi terminali dell'aria con filtri HEPA¹.

¹ I filtri HEPA ("High Efficiency Particulate Air") sono filtri assoluti aventi un'efficienza superiore al 99,97% in corrispondenza di particolato di dimensioni pari a 0.3 micron. Questo valore rappresenta il MPPS ("most penetrating particle size"), di conseguenza tale filtro avrà efficienze superiori per particolato più grossolano o più fine.

2.2.2. Reparto Operatorio

Nella trattazione del reparto operatorio è necessario prima introdurre il concetto di area protetta. L'area protetta è l'ambiente più delicato della sala operatoria o sala di preparazione appartenente alla classe Ia, dotata di flusso d'aria unidirezionale e avente classe di filtrazione minima pari ad H13². L'area in piano deve essere definita in fase progettuale, l'altezza dell'area protetta è definita come la distanza dal piano del tavolo operatorio (1,1 m sopra il livello del pavimento finito) e il plafone filtrante posizionato sul soffitto della sala operatoria, che genera un flusso d'aria unidirezionale. Lo spazio da considerare comprende almeno la superficie del tavolo operatorio, i tavoli per gli strumenti e l'area in cui il team operatorio, indossando indumenti sterili, si muove durante tutte le procedure tipiche di un'operazione. All'interno dell'area protetta si evita per quanto possibile l'ingresso di contaminanti dalla restante area operativa.

Il requisito minimo che deve essere rispettato nel reparto operatorio è che vi sia un bilancio positivo di aria, cioè che la portata d'aria immessa sia superiore alla portata d'aria estratta; i locali devono essere preferibilmente condizionati con terminali aventi superfici lisce e facili da pulire e disinfettare. Non sono ammessi in nessun caso i termoconvettori.

I rischi per la salute causati da raggi X/laser, fumo chirurgico e gas anestetici devono essere presi in considerazione prima di progettare aperture verso spazi adiacenti. A seconda dell'utilizzo medico, la temperatura nell'area chirurgica di ciascuna sala operatoria deve essere regolabile tra 19 °C e 26 °C. La portata di aria immessa deve essere maggiore di 900 m³/h*m² di plafone filtrante. Per quanto riguarda l'umidità relativa dell'aria i valori devono essere compresi tra il 30 % e il 65 %, ed in ogni caso l'umidità assoluta non deve essere superiore a 13 g/kg.

2.2.3. Zona di classe II

I locali di classe II sono tutti gli ambienti trattati in questa norma che non presentano le medesime esigenze di ventilazione delle zone di classe I.

2.3. Ventilazione e condizionamento aria

Ciascun tratto dell'impianto HVAC deve essere progettato e mantenuto in modo tale da evitare contaminazioni dai diversi ambienti, al fine di limitare il più possibile la presenza di sostanze organiche, inorganiche o gas pericolosi al proprio interno. L'aria immessa nell'ambiente deve essere percepita inodore. Nel caso in

² Prestazione definita dalla normativa UNI EN 1822[46]

cui non vi siano valori guida sanitari relativi alla concentrazione di contaminanti biologici e chimici (es. VOCs – composti organici volatili, endotossine, allergeni, agenti patogeni e fumo chirurgico), l'aria esterna deve essere presa come punto di riferimento e devono attuarsi i necessari accorgimenti affinché la polvere e il contenuto di particelle nell'aria di mandata soddisfi almeno i requisiti per l'aria esterna (Outdoor Air, in sigla ODA) di categoria ODA 1 secondo EN 16798-3^[16].

Tabella 7 – Concentrazioni limite di contaminanti richieste da DIN 1946

Contaminante	Limite annuale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Altre limitazioni
PM _{2.5}	10	25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] per un giorno
PM ₁₀	20	50 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] per un giorno
O ₃	-	100 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] per 8 ore
NO ₂	40	200 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] per un'ora
SO ₂	-	20 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] per un giorno

Il limite inferiore della sezione di aspirazione dell'aria esterna deve trovarsi ad almeno 3 m dal suolo e le sezioni di aspirazione e di espulsione dell'aria devono inoltre essere sufficientemente distanziate da altri ingombri che potrebbero compromettere l'aspirazione ed espulsione ottimali dell'aria.

I cortocircuiti tra la portata di aria estratta e l'aria esterna devono essere evitati prevedendo distanze sufficienti tra sezione di presa aria esterna e sezione di espulsione omisure tecniche adeguate. Se possibile, la portata di aria estratta deve essere convogliata verso l'esterno in copertura.

Un'altra situazione che richiede particolare attenzione è legata alle torri di raffreddamento, tipicamente presenti in centrale termica: per effettuare un corretto posizionamento impiantistico, bisogna evitare che gli aerosol rilasciati dalle torri non entrino nelle aperture di aspirazione dei sistemi di ventilazione o entrino nell'edificio attraverso finestre aperte.

- Canali dell'aria

I condotti devono avere superfici interne lisce resistenti all'abrasione, alla corrosione e pulibili e non possono essere utilizzate le cavità strutturali (ad esempio cavedi, controsoffitti o contropavimenti) per la distribuzione dell'aria non canalizzata.

È preferibile evitare i condotti di aria flessibili, ma per le aree in cui sono tecnicamente necessari (ad esempio nel caso di serrande tagliafuoco) e per il

collegamento a dispositivi di presa d'aria, devono avere una lunghezza inferiore ai 50 cm. Se posti in locali di classe I devono essere facilmente accessibili, anche se installati al di sopra dei controsoffitti.

- Serrande

Le serrande di intercettazione dell'aria esterna devono essere poste o immediatamente a valle dell'apertura di presa dell'aria esterna o immediatamente a monte del primo stadio di filtrazione mentre le serrande di intercettazione dell'aria di espulsione devono essere posizionate direttamente al termine della sezione di espulsione dell'aria esterna. Le serrande di presa dell'aria esterna e dell'aria di espulsione devono essere resistenti alla corrosione e realizzate in acciaio inossidabile o in lega di alluminio. Per quanto riguarda i requisiti di tenuta, devono avere prestazioni elevate, tali da soddisfare almeno i requisiti previsti nella classe 4 della DIN EN 1751^[17].

- Manutenzione

I componenti di distribuzione dell'aria devono essere facilmente accessibili e collocati in posizione tale che non risulti necessario accedere ad aree di classe I per la pulizia e per la manutenzione. Sempre per garantire la corretta manutenzione, allo stesso modo deve essere previsto un numero sufficiente di aperture di dimensioni adeguate, in modo tale che gli operatori possano provvedere alle attività di pulizia e manutenzione (per ulteriori approfondimenti relativi a questa tematica, si suggerisce di consultare la normativa DIN EN 12097^[18]).

2.4. Unità di Trattamento Aria

2.4.1. Caratteristiche generali

Ogni componente e materiale di cui è composta l'UTA non deve risultare dannoso per la salute, non deve emettere odori o sostanze nocive e non deve costituire un ambiente di proliferazione per i microrganismi. I materiali e i raccordi che entrano in contatto con il flusso d'aria devono essere resistenti alle sostanze adottate per la disinfezione delle superfici.

Tutte le superfici interessate dal flusso d'aria, compresi tutti i componenti dell'UTA stessa, devono essere almeno zincate e verniciate, e la parte inferiore dell'involucro, comprese le guide di inserimento dei componenti, e tutte le altre superfici che potrebbero potenzialmente venire a contatto con la condensa, devono

essere resistenti alla corrosione e realizzate in acciaio inossidabile o in lega di alluminio.

Per poter garantire una pulizia ottimale le superfici delle pareti interne devono essere lisce e prive di aree di assorbimento esposte e l'area del pavimento deve essere costruita senza scanalature e rientranze in modo che l'intera superficie possa essere efficacemente pulita mediante strofinamento manuale o pulizia meccanica senza lasciare residui.

- Serrande

Per una maggiore resistenza alle intemperie, le serrande devono essere posizionate all'interno dell'UTA. Per le unità destinate all'installazione all'interno degli edifici, le serrande dell'aria esterna devono essere poste all'interno degli stessi o, se poste all'esterno, devono essere provviste di un doppio strato di materiale isolante.

- Filtri dell'aria

Gli spazi adibiti per la sostituzione del filtro nel 1° e nel 2° stadio di filtrazione devono essere progettate in modo, durante la sostituzione del filtro stesso, la polvere non raggiunga il lato dell'aria pulita (ovvero quella a valle del filtro) che deve avvenire dal lato dell'aria polverosa (ovvero quello a monte del filtro).

In fase di progettazione dell'UTA, deve essere verificato che la temperatura del flusso d'aria non scenda al di sotto del punto di rugiada nelle vicinanze del filtro dell'aria, specialmente qualora avvenga l'arresto del sistema.

La superficie di filtrazione deve risultare maggiore o al più uguale a 10 m² per ogni m² di superficie frontale.

Per i locali di classe I è richiesta una filtrazione dell'aria di mandata a tre stadi, con i primi due stadi di filtrazione installati nell'unità di trattamento dell'aria e il 3° stadio installato a bordo del terminale ambiente:

- 1° stadio di filtrazione: PM1 ≥ 50 %;
- 2° stadio di filtrazione: PM1 ≥ 80 %;
- 3° stadio di filtrazione: almeno classe H 13 filtri HEPA.

Per ambienti di classe II risulta sufficiente un sistema di filtrazione a due stadi (senza filtri HEPA).

All'interno delle UTA le batterie di raffreddamento e deumidificazione e la sezione di umidificazione devono essere posizionati in modo da escludere l'umidità nei filtri: in nessun caso devono essere installate batterie di raffreddamento con funzione di deumidificazione immediatamente a monte di

eventuali filtri senza adottare separatori di gocce. Nel caso di umidificatori a vapore devono essere mantenute le necessarie distanze dai successivi stadi di trattamento specificate dal produttore.

Il terzo stadio di filtrazione deve essere installato sul lato mandata dell'ingresso dell'aria di mandata immediatamente (< 500 mm) a monte dell'ingresso dell'aria nei locali di classe I.

3 ASHRAE/ANSI/ASHE 170-2021

Una seconda normativa di riferimento largamente utilizzata a livello mondiale, alternativa alla DIN 1946-4, è la ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170.

La presente normativa è stata pubblicata nel 2021 da ASHRAE in collaborazione con FGI (Facility Guidelines Institute) con lo scopo di sostituire la precedente versione del 2017, rispetto alla quale è più completa e ricalca più fedelmente la suddivisione tematica già presente nei documenti dell'FGI, i quali trattano, in tre differenti libri:

- Linee guida per la progettazione e costruzione in ambito ospedaliero;
- Linee guida per la progettazione e costruzione di strutture ambulatoriali;
- Linee guida per la progettazione e costruzione di case di cura, ricovero e strutture di supporto.

3.1. Struttura

L'ASHRAE/ANSI/ASHE Standard 170 è costituito da 10 sezioni, delle quali 5 trattano tematiche correlate alla progettazione, alla costruzione e all'avviamento degli impianti.

In aggiunta alle sezioni sopra menzionate, sono riportate di seguito 6 Appendici (che tuttavia non sono parte integrante dello Standard), riportanti informazioni in merito a O&M (Operation and Maintenance), comfort termico e filtrazione aggiuntive rispetto a quanto riportato già nel testo della normativa.

3.2. Sistemi e apparecchiature

I sistemi di trattamento e distribuzione dell'aria devono garantire negli ambienti ospedalieri non solo condizioni ottimali dal punto di vista termoigrometrico, ma anche una ventilazione atta a garantire una adeguata rimozione delle sostanze inquinanti e dei contaminanti dagli ambienti, in modo tale da scongiurare il rischio di diffusione dei possibili organismi infettivi presenti nelle zone occupate.

Al proposito, all'interno della normativa sono riportati i requisiti termoigrometrici, di filtrazione e pressione differenziale tra ambienti contigui da

rispettare, sulla base della funzione dell'ambiente in cui si prevede vengano applicati.

3.3. Progettazione delle Unità di Trattamento Aria

Le Unità di Trattamento Aria (UTA) devono essere progettate in modo da resistere alla corrosione ed essere impermeabili all'acqua; inoltre, ogni superficie a contatto col flusso d'aria deve rispettare quanto indicato nella ASHRAE 62.1^[19] all'interno della sezione 5.4: ad eccezione delle lamiere di metallo e degli ancoraggi, i materiali non devono permettere la corrosione e la formazione di muffe.

Un tema molto importante per la progettazione preliminare delle UTA è stabilire le minime distanze tra l'aspirazione e le varie fonti di inquinanti che potrebbero trovarsi sul posto, al fine di garantire una buona qualità dell'aria all'ingresso. In supporto a questa valutazione, la normativa afferma che le prese di aria esterna devono essere collocate in modo che la minima distanza dalla fonte inquinante più vicina sia superiore a quella indicata nella tabella 5.1 della Normativa:

Tabella 8– Requisiti di distanza minima per prese d'aria

Sorgente di contaminanti	Distanza minima [m]
Sezione di espulsione aria da ambienti di Classe 2	3
Sezione di espulsione aria da ambienti di Classe 3	5
Sezione di espulsione aria da ambienti di Classe 4	10
Sfiati che si elevano a meno di 3 metri al di sopra del livello della copertura	3
Sfiati che si elevano oltre i 3 metri al di sopra del livello della copertura	1
Sfiati, camini, scarichi di fumi	5
Ingressi di autorimesse	5
Strade o parcheggi	2
Altre superfici adiacenti alla presa	0,5
Depositi di rifiuti	5
Presa d'aria di una torre evaporativa	5
Uscita del vapore da una torre evaporativa	7,5

Tutte le aperture devono essere progettate in modo da evitare l'ingresso dell'acqua trasportata dal vento ed avere una griglia con larghezza di maglia non inferiore a 13mm.

È indispensabile fornire dei dispositivi di controllo automatici o manuali per i sistemi di trattamento aria per mantenere i requisiti minimi di ricambi orari in ogni condizione di progetto, inclusa quella di non occupazione dello spazio.

Le sezioni di espulsione dell'aria dei reparti infettivi, delle broncoscopie, dei dipartimenti di emergenza, delle sale d'attesa del pubblico, dei reparti di medicina nucleare, delle sale di radiologia, delle sale in cui ci sono pazienti in attesa di trattamenti ai raggi X per problemi respiratori, o provenienti da cappe di laboratori o reparti farmaceutici devono:

- 1) Essere progettati in modo che le canalizzazioni siano a pressione negativa;
- 2) Essere collocati in modo da ridurre il potenziale ricircolo dell'aria di espulsione verso l'interno dell'edificio.

Le sezioni di espulsione dei reparti infettivi, broncoscopie, reparti farmaceutici in cui sono presenti prodotti ad alta pericolosità e le cappe dei laboratori devono essere progettate in modo da espellere l'aria estratta in direzione verticale (senza coperchio antipioggia o altre ostruzioni) ad almeno 3 metri sopra il livello della copertura.

Un'eccezione viene fatta per l'aria di espulsione dei reparti infettivi se prima viene effettuata una filtrazione con un filtro HEPA.

Le espulsioni delle cappe dei laboratori devono estrarre con una portata di almeno 15,3l/s ma può essere concessa una portata inferiore a fronte di una analisi ingegneristica che dimostri che vengono raggiunti ugualmente i criteri di diluizione delle sostanze pericolose contenute nel flusso in espulsione fino a livelli accettabili (stabiliti dalla ANSI/AIAH Z9.5^[20]).

Gli scarichi dei reparti infettivi, delle broncoscopie e delle cappe dei laboratori non devono essere collocati a meno di 8 metri in linea orizzontale dalle prese di aria esterna, porte o finestre apribili o aree normalmente accessibili al pubblico. Anche per questa specifica, è possibile fare un'eccezione se vi sono analisi ingegneristiche in grado di dimostrare la sicurezza.

Per edifici di cura con parcheggi adiacenti, al fine di minimizzare il rischio di ingresso dei gas di scarico prodotti dai veicoli all'interno degli spazi, attraverso aperture o sistemi di ventilazione, si rimanda alla normativa di riferimento per una trattazione dettagliata, come riportato nello stesso ASHRAE Standard 170^[21].

3.4. Filtrazione

All'interno della sezione 6.4 della normativa è affrontato il tema della filtrazione del particolato, un tipo di inquinante estremamente comune al quale si rende necessario prestare attenzione.

I filtri da adottare devono essere almeno di classe MERV-8³ e devono essere installati a monte della prima batteria o sistema di trattamento aria che combina aria di ricircolo o introduce aria esterna. La progettazione deve tenere conto, inoltre, del problema della formazione di condensa a valle delle batterie fredde e dell'umidità a valle delle sezioni di umidificazione. La normativa riporta le classi di filtrazione da adottare per ogni ambiente ed indica di utilizzare filtri da un minimo MERV-8 per gli ambienti meno delicati (come, ad esempio, le sale d'attesa del Pronto Soccorso) ad una massima classe di filtrazione pari a MERV-16 o HEPA (Sale operatorie, ambienti protetti o reparti infettivi).

3.5. Sistemi di riscaldamento e raffrescamento

La normativa fornisce anche informazioni in merito ai sistemi di riscaldamento e raffrescamento che è possibile adottare all'interno degli ambienti ospedalieri, e riporta buone pratiche da seguire per effettuare una corretta progettazione. Per i sistemi di raffrescamento radiante, ad esempio, bisogna fare in modo che la temperatura dell'acqua fredda sia sempre al di sopra della temperatura di rugiada dell'aria presente nell'ambiente dove sono installati. Per le stanze che richiedono una maggiore attenzione (sale operatorie, reparti infettivi, sale protette, sale ustionati), sono assolutamente da evitare sistemi di riscaldamento o raffrescamento dell'aria del tipo a fancoil o radiatori: è opportuno predisporre sistemi radianti a parete, a soffitto o a pavimento. Le superfici devono sempre essere lisce e facili da pulire.

Qualora il sistema di riscaldamento o raffrescamento prevedesse l'installazione di una o più torri evaporative, in tal caso si deve prestare attenzione a non consentire ingressi di vapore nelle prese d'aria delle UTA, rispettando le distanze minime indicate.

³ Classificazione secondo ASHRAE Standard 52.2[47], per approfondimenti si rimanda all'Appendice A

3.6. Sezioni di Umidificazione

Qualora l'umidità esterna e le fonti di umidità interne non siano sufficienti per raggiungere i requisiti stabiliti all'interno della normativa, l'umidificazione deve essere garantita per mezzo dell'unità di trattamento aria dell'edificio. È concesso l'utilizzo di umidificatori a vapore oppure adiabatici ad alta pressione.

- Requisiti generali

Le valvole di controllo degli umidificatori devono essere progettate in modo tale da rimanere chiuse quando gli umidificatori non funzionano.

L'acqua per gli umidificatori ad alta pressione deve rispettare i seguenti requisiti: l'acqua deve essere trattata con un processo di osmosi inversa, un ciclo di sterilizzazione ai raggi UV-C, deve essere filtrata con un filtro con maglia inferiore al micron e deve circolare in modo continuo dalla sorgente alle valvole. Tutte le valvole, tubi, collettori e componenti simili devono essere svuotati completamente quando non sono in uso.

Come indicato all'interno della linea guida ASHRAE Guidelines12-2020^[22], la temperatura dell'acqua deve essere sempre inferiore a 25°C o superiore a 42°C, perché in tale range di temperatura sono favorite le condizioni di sviluppo del batterio della Legionella (come riportato in Figura 1^[23]). Devono essere previsti dei punti di campionamento per il test dell'acqua di alimentazione, essere presenti dei filtri per lo sporco e la purezza dell'acqua nel punto di campionamento deve eguagliare o superare quella dell'acqua potabile nel momento in cui entra nel sistema di ventilazione o nel generatore di vapore.

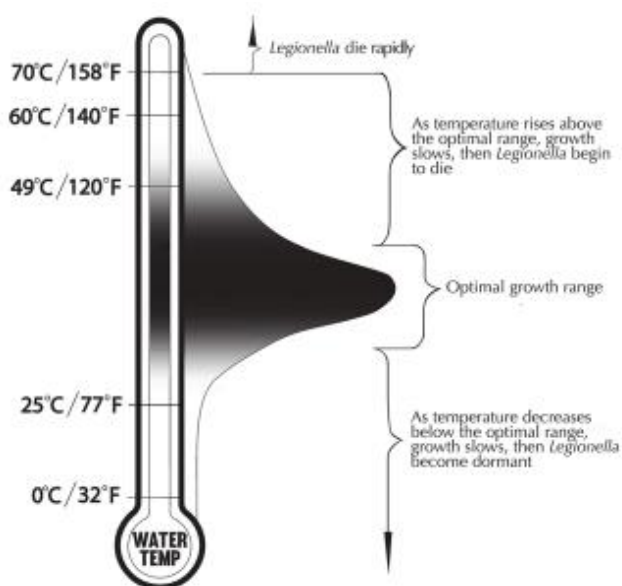


Figura 1 – Sviluppo di legionella al variare della temperatura

3.7. Sistemi di recupero energetico (ERS)

Per aumentare l'efficienza energetica dell'impianto riducendo i consumi, è prassi comune utilizzare dei sistemi di recupero energetico (ERS). Qualora impiegati, devono essere collocati a monte dei filtri e non devono permettere che si verifichi cross-contamination, fenomeno indesiderato che si ha quando l'aria di espulsione si unisce a quella in ingresso via trafileamento o miscelazione.

Qualora si decida di impiegare dei sistemi di recupero in cui vi è il rischio di un fenomeno di trafileamento, essi devono essere progettati in modo che non oltre il 5% dell'aria totale di mandata sia costituita da aria di ripresa. Non devono essere utilizzati dispositivi di questo tipo se si desidera recuperare calore dalle correnti di scarico provenienti da: pronto soccorso, triage, locali decontaminati, radiologie, broncoscopie, laboratori e altri locali in cui sono utilizzati contaminanti gassosi (come, ad esempio, camere di anestesia e lavanderie).

Per i reparti infettivi non devono assolutamente essere previsti dispositivi di recupero energetico, a meno che non siano sistemi in cui le due correnti non possono fisicamente mai entrare in contatto (sistemi con batterie accoppiate o run-around coil heat recovery).

3.8. Ventilazione degli spazi

Nella normativa sono riportati, in funzione dell'ambiente, i requisiti minimi da rispettare in merito alla ventilazione che consentano di garantire un controllo degli inquinanti, degli odori e l'asetticità^[19]. Trattandosi di requisiti minimi e dal momento che la popolazione è variegata e presenta diverse sensibilità e percezioni, queste indicazioni non garantiscono la totale protezione dal discomfort. Questi requisiti riguardano non solo le temperature e umidità da considerare in fase di progetto, ma anche i minimi ricambi di aria esterna e totali, la filtrazione minima, i valori di pressione differenziale da tenere tra gli spazi, se è possibile effettuare ricircolo e se è possibile effettuare una politica di "turndown unoccupied", ovvero spegnere l'impianto in caso di mancanza di persone all'interno dell'ambiente interessato. Il ricircolo in particolare è permesso laddove non espressamente vietato dalla tabella 3, per contribuire a raggiungere i minimi ricambi d'aria.

Tabella 9 – Ventilazione degli spazi secondo ASHRAE Standard 170

Tipologia di spazio	Pressione diff.	Min. ricambi orari	Efficienza min. di filtrazione	UR [%]	Temperatura di progetto [°C]	Ricircolo	Turndown
Sala operatoria	Positiva	20	MERV-16	20-60	20-24	No	Si
Corridoio degenze	NR	2	MERV-14	NR	NR	NR	Si
Degenze	NR	4	MERV-14	Max 60	21-24	NR	Si
Sterilizzazione	NR	6	MERV-8	NR	NR	No	Si
TAC	Positiva	20	MERV-16	20-60	21-24	No	Si
Ambulatorio	NR	4	MERV-8	Max 60	21-24	NR	Si
Reparto infettivi	Negativa	12	MERV-14	Max 60	21-29	No	Si
Fisioterapia	Negativa	6	MERV-14	NR	21-29	NR	Si
Sala relax	NR	4	MERV-14	Max 60	21-29	NR	Si
Deposito sterile	Positiva	4	MERV-8	Max 60	Max 24	NR	No
Lavanderia	Positiva	10	MERV-8	NR	NR	No	No
Laboratorio	Negativa	6	MERV-8	NR	21-24	NR	No

Qualora non fossero presenti delle tipologie di ambienti nella tabella prima presentata, i requisiti da ottemperare dovranno essere quelli degli ambienti più simili. Nel caso in cui ad uno stesso spazio corrispondano valori di portate d'aria differenti tra quelli di questa normativa e quelli proposti dall'ASHRAE Standard 62.1[19], si suggerisce di prendere il valore superiore. I ricambi d'aria indicati valgono sia per locali a pressione positiva che per locali a pressione negativa ed inoltre i ricambi orari così come la temperatura e umidità relativa di progetto possono essere modificati in caso di mancata occupazione, tranne quando espressamente vietato, ma non si deve alterare la differenza di pressione tra i locali. Un locale per il quale è previsto che si trovi in sovrappressione, ad esempio, non potrà mai avere pressione negativa. Tutti i ricambi d'aria fatti con aria esterna dovranno rispettare i requisiti di filtrazione previsti dalla normativa.

3.8.1. Locali farmaceutici

I locali farmaceutici potrebbero richiedere ricambi orari superiori a quelli indicati o possedere differenti requisiti di pressione a seconda del tipo di locale farmaceutico, delle richieste del regolamento locale, dal livello di rischio associato al lavoro e dall'attrezzatura impiegata negli spazi. Per gli ambienti contenenti composti chimici è bene riferirsi per quanto riguarda la filtrazione, alle normative USP 795^[24], 797^[25] e 800^[26] qualora applicabili. Per quanto riguarda gli ambienti nei

quali si stoccano gas tecnici, la normativa di riferimento per la ventilazione è la NFPA99^[27].

3.8.2. Reparto infettivi (AII: Airborne Infectious Isolation)

Una particolare attenzione va rivolta anche alle sale in cui sono presenti pazienti infettivi (denominate sale “AII”: Airborne Infectious Isolation), che devono rispettare quanto prescritto per la ventilazione e avere dei dispositivi che consentano il monitoraggio costante delle differenze di pressione tra le stanze (quando occupate da pazienti con sospette malattie infettive) e i corridoi, in presenza o meno di un disimpegno. Deve essere possibile in ogni momento verificare il rispetto dei requisiti di pressione differenziale. Tutta l’aria estratta dalle sale AII e dai rispettivi disimpegni e bagni deve essere espulsa in uno dei seguenti modi:

- Espulsione diretta senza miscelazione con aria estratta da altri ambienti;
- Espulsione nel generico collettore di aria estratta previa obbligatoria filtrazione con un filtro HEPA.

Le griglie di aspirazione devono essere poste direttamente nelle vicinanze dei letti dei pazienti, sul soffitto o sulla parete adiacente, salvo casi in cui questo non sia possibile per ragioni pratiche. Nel caso in cui siano presenti dei disimpegni, le stanze AII devono essere a pressione negativa rispetto agli stessi, e i disimpegni a pressione negativa rispetto ai corridoi.

Le sale AII devono rimanere a pressione negativa relativamente agli ambienti adiacenti quando è presente un paziente infetto. Devono essere testate giornalmente quando è presente un infetto.

3.8.3. Sale PE (Protect Environment)

Un’attenzione aggiuntiva viene dedicata alle stanze PE (Protective Environment Rooms), ovvero stanze nelle quali sono presenti persone fragili o immunodepresse. In queste stanze speciali la differenza di pressione minima da garantire è di 5 Pa attraverso l’involucro. Anche esse, come le stanze AII, devono necessariamente avere dei dispositivi di controllo della pressione differenziale. I diffusori dell’aria devono essere collocati sopra il letto dei pazienti a meno che non sia possibile per ragioni pratiche, e devono avere velocità di mandata contenute per limitare il discomfort. La griglia di estrazione deve essere collocata in prossimità della porta della stanza e i filtri HEPA devono essere collocati nel terminale aria. I filtri possono anche essere collocati nelle UTA qualora più del 75% del flusso d’aria trattata vada a servire ambienti di questo tipo. Nel caso in cui

queste stanze fossero ricavate da ex-sale degenza generiche, possono avere aria di ricircolo, ma deve passare attraverso un filtro HEPA e rispettare i requisiti precedentemente indicati. Queste stanze devono essere a pressione positiva rispetto ai corridoi e, qualora vi fossero dei disimpegni, anche essi dovranno essere a pressione positiva rispetto ai corridoi, e le stanze PE dovranno essere a pressione positiva rispetto ai disimpegni.

Le sale PE devono rimanere a pressione positiva rispetto alle stanze adiacenti qualora vi sia un paziente immunodepresso e devono essere testate giornalmente quando c'è un paziente immunodepresso

3.8.4. Sale Operatorie (OR), chirurgiche e radiologia

Queste stanze necessitano di essere mantenute a pressione positiva di almeno 5 Pa rispetto agli spazi adiacenti per tutto il tempo. Ogni stanza dovrà avere un controllo di temperatura individuale ed avere un diffusore di aria progettato come segue:

- Flusso unidirezionale rivolto verso il basso, con una portata media compresa tra 42,5 e 59,5 m³/h e devono essere concentrati per fornire un flusso d'aria sopra al paziente ed al personale chirurgico
- L'area di copertura del diffusore primario deve estendersi per un minimo di 305 mm dalla sagoma del tavolo operatorio su ogni lato.
- Entro quest'area indicata, non oltre il 30% di questa porzione deve essere impiegata per usi non inerenti alla diffusione dell'aria (luci, porzioni di apparecchiatura, pannelli di accesso, sprinklers antincendio);
- Nelle sale di radiografia o sale operatorie in cui si effettuano interventi ortopedici, trapianti, neurochirurgia o specifiche operazioni per le ustioni, devono essere usati filtri HEPA (questi ambienti sono definiti come "Class 3 Imaging Rooms"⁴).

Possono essere collocati altri diffusori per aumentare la ventilazione delle stanze, oltre al primario, per soddisfare i requisiti presenti nella tabella 7.1 relativi a temperatura e umidità, oppure per soddisfare i ricambi orari minimi. La stanza deve prevedere almeno due ritorni o griglie di aspirazione poste agli angoli opposti o il più lontane possibile, con la parte bassa delle griglie installata approssimativamente a 203 mm dal pavimento. Possono essere utilizzate altre

⁴ Definizione secondo FGI Guidelines, 2018[48]

griglie oltre a queste obbligatorie e queste ultime possono essere collocate anche più in alto.

Ogni sala operatoria deve esser testata almeno a cadenza semestrale.

I sistemi di ventilazione per sale operatorie e sale cesaree devono funzionare sempre, tranne durante la manutenzione e durante gli spegnimenti richiesti dal sistema antincendio dell'edificio.

3.9. Spazi di supporto

Per gli spazi di supporto ai reparti prima trattati, è consentito un funzionamento con setback più basso per la notte o per quando i locali non sono occupati, quando non è richiesta la pressurizzazione e dove gli edifici sono chiusi per periodi di tempo continuativi come di notte o nei fine settimana.

Tutti i ricambi minimi di aria indicati devono rispettare la filtrazione riportata nella sezione dedicata della normativa^[28] (riportata in versione integrata con altre sezioni della normativa, nella Tab.4). Laddove sia indicato che è permesso fare ricircolo dell'aria, si deve verificare che l'HVAC che effettua il ricircolo non riceva aria esterna non filtrata e non condizionata, serva un solo spazio e possieda un filtro di classe almeno MERV-8 per il flusso d'aria che passa sopra alle superfici per le quali è prevista condensa.

Per i sistemi di trattamento aria che servono più stanze, la quantità minima di aria esterna deve essere calcolata usando uno di questi metodi:

- Come somma delle portate richieste per ciascuno spazio indicato nella presente normativa;
- Con l'applicazione della "Ventilation Rate Procedure" riportata all'interno della normativa ASHRAE 62.1.

Il flusso di aria primaria minimo richiesto (per sistemi multizona con ricircolo) deve essere calcolato come $V_{pz-min}=V_{oz}*1,5$, in cui V_{oz} è la portata di aria esterna.

3.9.1. Obitori e sale autoptiche

Una tipologia di ambiente di supporto alla quale la normativa presta ulteriore attenzione è quella delle sale autoptiche e degli obitori. Per questa tipologia di locali sono indicati i seguenti requisiti da rispettare:

- Griglie di aspirazione posizionate in basso alle pareti, a meno che non vi siano dei tavoli per autopsie progettati in modo tale da prevedere anche la sopra citata funzione;
- L'aria estratta dalle autopsie, dalle sale mortuarie non refrigerate e dagli obitori deve essere espulsa direttamente senza miscelarsi con aria proveniente da altrove;
- Mantenere una differenza di pressione (negativa) di 5Pa rispetto ai locali adiacenti.

4 Analisi comparativa delle normative

In seguito alla presentazione delle principali normative e standard di riferimento per la progettazione ospedaliera, è opportuno effettuare una comparazione tra gli stessi per le medesime tipologie di ambienti, in modo da avere una visione più schematica dei requisiti richiesti in termini di ricambi orari, filtrazione e condizioni termoigrometriche di progetto. Si riporta di seguito un confronto tra i valori portate di ventilazione per ogni ambiente dei principali locali ospedalieri.

Tabella 10– Confronto delle portate di ventilazione prescritte

Locale	DPR 14/01/1997 [volumi/ora]	ASHRAE 170 [volumi/ora]	DIN 1946-4
Reparto operatorio	15	20	900 m ³ /(h*m ² di plafone filtrante) ^c
Terapia intensiva	6	6	100 m ³ /(h*paziente)
Depositi materiale sanitario	2	4	nr*
Sterilizzazione	15	10	nr
Servizi di disinfezione	15	10	nr
Servizio mortuario	15	12	nr
Sala parto	6	3	nr*
Ambulatorio (generico)	nr	4	40 m ³ /(h*persona)

Degenza	nr	4	nr*
Medicina nucleare	nr	6	nr
Sala infettivi	nr*	12	nr
Corridoio	nr	2	5 m ³ /(m ² *h)

^c Portata d'aria comprensiva del ricircolo

^{nr} Requisito non specificato nella sezione relativa della normativa

^{nr*} Tipologia di locale non presente nella normativa

Un altro aspetto importante della progettazione è la scelta delle condizioni termoigrometriche di progetto per gli ambienti, le quali sono riportate nella tabella sottostante, per i medesimi ambienti della tabella 5:

Tabella11- Confronto delle condizioni esterne di riferimento

Locale	DPR 14/01/1997	ASHRAE 170	DIN 1946-4
Reparto operatorio	20-24°C (40 - 60%)	20-24°C (20 - 60%)	19-26°C (30-55%)
Terapia intensiva	20-24°C (40 - 60%)	21-24°C (40 - 60%)	Max 26°C (30-65%)
Depositi materiale sanitario	20-26°C (50 ± 5%)	Max 24°C (Max 60%)	nr*
Sterilizzazione	20-27°C (40 - 60%)	21-24°C (nr)	22-26°C (nr)
Servizi di disinfezione	20-27°C (40 - 60%)	nr (nr)	22-26°C (nr)
Servizio mortuario	18°C (50 ± 5%)	20-24°C (nr)	Max 22°C (nr)
Sala parto	20-24°C (40 - 60%)	21-24°C (Max 60%)	nr*
Ambulatorio (generico)	nr	21-24°C (nr)	nr
Degenza	nr	21-24°C (Max 60%)	nr*
Medicina nucleare	nr	21-24°C (nr)	nr
Sala infettivi	nr*	21-24°C (Max 60%)	nr
Corridoio	nr	21-24°C (nr)	nr

Come evidenziato da questa analisi, i range di temperature e umidità proposti dalle normative analizzate sono analoghi per gli ambienti considerati.

Un altro aspetto di centrale importanza per la progettazione riguarda il tema della filtrazione, per la quale le normative riportano i seguenti requisiti di qualità minima:

Tabella12–Confronto dei requisiti di filtrazione

Locale	DPR 14/01/1997	ASHRAE 170	DIN 1946-4
Reparto operatorio	99,97 %	MERV 16	HEPA
Terapia intensiva	nr	MERV 14	PM1 ≥ 80
Depositi materiale sanitario	Filtrazione a media efficienza	MERV 8	nr*
Sterilizzazione	nr	MERV 14	PM1 ≥ 80
Servizi di disinfezione	nr	MERV 8	PM1 ≥ 80
Servizio mortuario	nr	MERV 8	PM1 ≥ 80
Sala parto	nr	MERV 14	nr*
Ambulatorio (generico)	nr	MERV 8	PM1 ≥ 80
Degenza	nr	MERV 14	nr*
Medicina nucleare	Assoluti (in estrazione)	MERV 8	PM1 ≥ 80
Sala infettivi	nr*	MERV 14	PM1 ≥ 80 + HEPA in estrazione
Corridoio	nr	MERV 14	5 m ³ /(m ² *h)

Dalla tabella appena presentata è evidente come i riferimenti normativi si basino su metodologie di classificazione della filtrazione differenti e siano, pertanto, teoricamente incomparabili. Il DPR 14/01/1997 infatti, per motivi cronologici, classifica la filtrazione secondo la normativa europea EN 779 (di riferimento negli scorsi decenni), mentre l'ASHRAE Standard 170 si riferisce alla normativa americana ASHRAE 52.2 e la DIN 1946-4 alla classificazione internazionale più recente (2018) UNI EN ISO 16890^[29]. A causa dell'adozione di riferimenti differenti, la comparazione può essere solo approssimata attraverso le metodologie presentate nella Appendice A.

La qualità dell'aria degli ambienti interni non è tuttavia funzione solamente dei minimi ricambi orari (che favoriscono la diluizione dei contaminanti) e della filtrazione (che ne impedisce l'ingresso negli ambienti), perché le sorgenti di contaminanti sono presenti, oltre che nell'aria esterna, anche all'interno

dell'edificio. Elementi di arredo, attrezzature, vernici e materiali da costruzione sono infatti sorgenti di contaminanti organici volatili (acronimo inglese "VOCs") estremamente comuni da non sottovalutare, se si vuole perseguire un elevato standard della qualità dell'aria, perché tali composti possono risultare dannosi per la salute degli occupanti. Questo tema è presente nei riferimenti normativi della progettazione ospedaliera italiana, e sarà approfondito nel Paragrafo seguente.

5 Progettazione tecnica

Ai fini di calare in un contesto reale gli aspetti evidenziati dalle normative si effettuerà un'analisi energetica di un ipotetico edificio di nuova costruzione, ubicato in una zona rurale del Sud Italia. Il fine di questo capitolo è quello di approssimarsi alla progettazione di un impianto HVAC di una struttura ospedaliera, evidenziando le criticità e le scelte progettuali. L'edificio si struttura su una superficie utile di 13191 m² suddiviso su 4 piani, di cui uno interrato.

Le superfici disperdenti verticali sono caratterizzate da una quasi completa totalità di superficie vetrata (facciata continua), aspetto che risulterà poi di centrale importanza nell'analisi dei carichi termici solari.

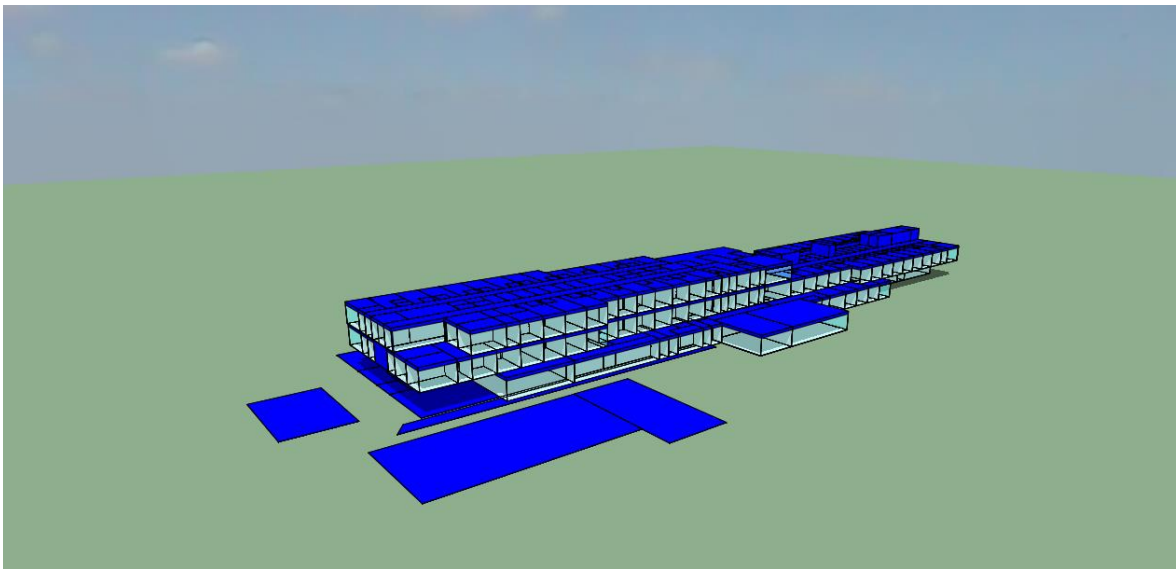


Figura 2 – Modello 3D dei locali del caso studio

5.1. Costruzione del modello

Il primo passo per la costruzione del modello è rappresentato dal disegno delle planimetrie con l'utilizzo del software AutoCAD. Per proseguire con gli step successivi, tali disegni vengono importati all'interno del software di simulazione IES VE.

Per poter realizzare il modello sono state disegnate le aree lorde di ogni ambiente presente nelle planimetrie fornite dalla stazione appaltante, assegnando a ciascuno un tag contenente la caratterizzazione dell'ambiente e un codice identificativo.

Il file ottenuto è stato caricato in IES VE ed è stato estruso considerando un'altezza lorda di 3,5 metri per ogni piano e un'altezza di 2,7 metri per i locali tecnici presenti in copertura.

La fase che segue risulta essere molto importante poiché definisce le condizioni di riferimento sulle quali il software calcolerà i carichi termici e sulle quali poi verrà dimensionato l'impianto.

Per poter considerare un caso più realistico e attuale per una città situata nel Sud Italia la temperatura esterna di progetto di bulbo secco (e di conseguenza quella di bulbo umido, tenendo fissa l'umidità relativa a 50%) è stata considerata pari a 40 °C al fine di porsi in una condizione peggiorativa.

Impostando i valori di input indicati, attraverso una simulazione dinamica di IES VE, si sono ottenute le seguenti temperature mensili di riferimento:

Latitudine	37.91° N
Longitudine	12.49° E
Alt. sul livello del mare [m]	7
Periodo di riscaldamento	
Dal mese:	Dicembre
Al mese:	Marzo
Temperatura invernale est. [°C]	4
Temperatura massima:	
Bulbo secco [°C]	40
Bulbo umido [°C]	26

Tabella13 – Temperature mensili di riferimento

	Bulbo secco [°C]		Bulbo umido [°C]
	Min	Max	Max
Gennaio	14,7	21,3	18,1
Febbraio	15,4	22,3	18
Marzo	18,1	25,5	18,5
Aprile	21,4	29,3	18,3
Maggio	26,3	35	21,9

Giugno	29,4	38,5	24,7
Luglio	30,5	39,4	24,7
Agosto	31,1	40	26
Settembre	28,3	36,2	25,6
Ottobre	20,7	32,2	24,7
Novembre	17,4	27,4	22,9
Dicembre	14,7	23,3	20,4

Dal disegno architettonico fornito è stata ricavata l'area lorda totale che risulta essere pari a 13195 m² mentre l'area netta climatizzata totale è pari a 9468 m².

5.2. Stratigrafie

Lo step successivo della modellazione consiste nell'assegnazione delle stratigrafie all'involucro, ovvero la definizione in termini di spessori e materiali dei componenti che costituiscono l'edificio. Dalla scelta delle stratigrafie dipendono le prestazioni energetiche dell'edificio in termini di fabbisogno energetico, sia in inverno, che in estate.

Particolare attenzione è da dedicare al parametro relativo alla trasmittanza termica "U", che indica quanto le componenti dell'edificio (murature, solette, copertura) siano capaci di scambiare calore: più elevati saranno i valori di questo parametro, più facilmente il componente tenderà a disperdere calore in inverno (favorendo sprechi di energia) e ad acquisire calore in estate (aumento della potenza richiesta per raffrescare).

Per questi motivi, in Italia si fa riferimento al Decreto Ministeriale del 26 Giugno 2015, che nell'appendice A dell'allegato 1, definisce in forma tabellare i valori limite di trasmittanza termica U.

Il vincolo relativo alla trasmittanza massima delle strutture è variabile a seconda dell'ubicazione geografica dell'edificio: il territorio nazionale è infatti suddiviso in 6 zone climatiche (A-F), le quali raccolgono territori aventi caratteristiche simili.

Il caso studio rientra nella zona climatica C, pertanto le strutture verso esterno, interrate o verso locali non climatizzati dovranno rispettare i seguenti vincoli di trasmittanza massima:

Tabella 14 – Valori limite di trasmittanza

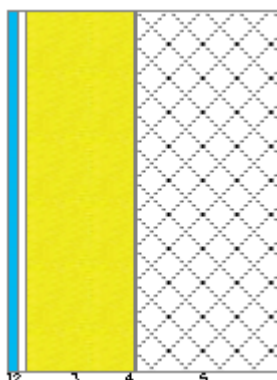
Componente	U [W/m ² K]
Strutture opache verticali	0.34
Copertura	0.33
Strutture opache orizzontali	0.38

Per il caso studio si è deciso di adottare una facciata a vetrata continua. Alla luce dell'esperienza progettuale, sono state individuate le proposte costruttive elencate di seguito, elaborate con l'ausilio del software Edilclima.

Per ciascun componente dell'involucro è stata riportata la trasmittanza totale ("U-value"), lo spessore e la massa areica. È possibile analizzare poi nel dettaglio il componente e prendere visione della sua caratterizzazione dettagliata.

Tabella 15 - Stratigrafie dell'involucro

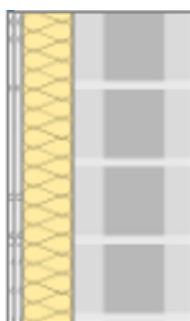
M1 – Muro perimetrale



U-value	0,2145	W/m ² *K
Spessore	375,5	mm
Massa areica	510,15	kg/m ²

Materiale	Spessore [mm]	Conduttività [W/(m*K)]	Densità [kg/m ³]	Calore specifico J/(kg*K)	Resistenza [m ² *K/W]	Resist. al vapore [GN*s/(kg*m)]
Vetro	12,5	1	2500	1000	0,0125	-
Intercapedine	10	-	-	-	0,046	-
Lana di roccia	150	0,035	70	1000	42,857	6
Barriera al vapore	3	220	2800	896	-	3000000
Calcestruzzo	200	1,63	2300	1000	0,1277	150

M2 – Muratura verso LNR (Vano scala)

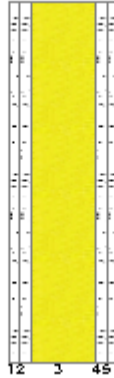


U-value	0,3	W/m ² *K
Spessore	300	mm
Massa areica	125	kg/m ²

Materiale	Spessore [mm]	Conduttività [W/(m*K)]	Densità [kg/m ³]	Calore specifico J/(kg*K)	Resistenza [m ² *K/W]	Resist. al vapore [GN*s/(kg*m)]
Cartongesso in lastre	12,5	0,25	900	1000	0,05	10
Cartongesso in lastre	12,5	0,25	900	1000	0,05	10
Pannello in lana di roccia	80	0,035	40	1030	2,286	1
Blocco semipieno	195	0,283	508	840	0,689	5

M3 – Partizione interna

U-value	0,3119	W/m ² *K
Spessore	150	mm
Massa areica	59,7	kg/m ²



Materiale	Spessore [mm]	Conduttività [W/(m*K)]	Densità [kg/m ³]	Calore specifico J/(kg*K)	Resistenza [m ² *K/W]	Resist. al vapore [GN*s/(kg*m)]
Cartongesso	15	0,16	950	840	0,0938	45
Cartongesso	15	0,16	950	840	0,0938	45
Lana di roccia	90	0,035	30	1000	25,714	6
Cartongesso	15	0,16	950	840	0,0938	45
Cartongesso	15	0,16	950	840	0,0938	45

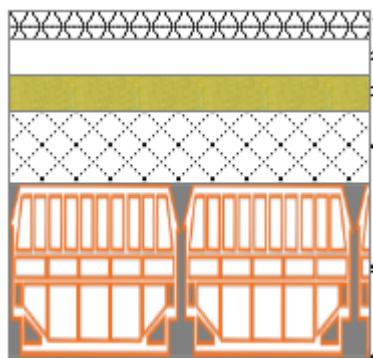
FV1 – Facciata vetrata

U-value	1,375	W/m ² *K
Spessore	24	mm
Massa areica	-	kg/m ²



Materiale	Spessore [mm]	Conduttività [W/(m*K)]	Trasmittanza	Riflettanza esterna	Riflettanza interna	Resistenza [m ² *K/W]
Pannello esterno	6	1,06	0,385	0,289	0,414	0,0057
Intercapedine	12	-	-	-	-	0,818
Pannello interno	6	1,06	0,337	0,072	0,072	0,0057

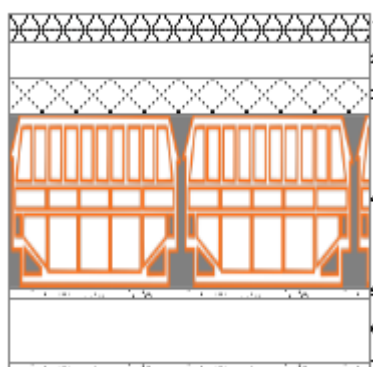
P1 – Pavimento verso LNR



U-value	0,3088	W/m ² *K
Spessore	490	mm
Massa areica	526,15	kg/m ²

Materiale	Spessore [mm]	Conduttività [W/(m*K)]	Densità [kg/m ³]	Calore specifico J/(kg*K)	Resistenza [m ² *K/W]	Resist. al vapore [GN*s/(kg*m)]
Pannello in idrato di silicato di calce	40	0,043	110	1000	0,9302	238
Intercapedine	50	-	-	-	0,16	-
Polistirene espanso	50	0,033	35	1450	15,152	425
Calcestruzzo	100	2,15	2400	880	0,0465	150
Soletta in laterizio	240	0,66	1100	840	0,3636	35
Intonaco di calce e sabbia	10	0,8	1600	1000	0,0125	140

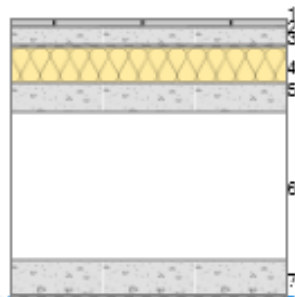
P2 – Pavimento interpiano



U-value	0,5222	W/m ² *K
Spessore	495	mm
Massa areica	426,65	kg/m ²

Materiale	Spessore [mm]	Conduttività [W/(m*K)]	Densità [kg/m ³]	Calore specifico J/(kg*K)	Resistenza [m ² *K/W]	Resist. al vapore [GN*s/(kg*m)]
Pannello in idrato di silicato di calce	40	0,043	110	1000	0,9302	238
Intercapedine	50	-	-	-	0,16	-
Calcestruzzo di sabbia e ghiaia	50	1,91	2400	1000	0,0262	150
Soletta in laterizio	240	0,66	1100	840	0,3636	35
Intonaco	15	1	1800	1000	0,015	140
Intercapedine	87,5	-	-	-	0,16	-
Cartongesso	12,5	0,25	900	1000	0,05	45

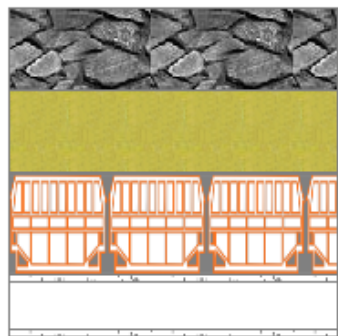
P3 – Pavimento su terreno



U-value	0,138	W/m ² *K
Spessore	752	mm
Massa areica	450	kg/m ²

Materiale	Spessore [mm]	Conduktività [W/(m*K)]	Densità [kg/m ³]	Calore specifico J/(kg*K)	Resistenza [m ² *K/W]	Resist. al vapore [GN*s/(kg*m)]
Piastrelle in ceramica	20	1.3	2300	840	0.015	15000
Massetto in calcestruzzo	50	1.49	2200	880	0.034	70
Barriera al vapore PVC in fogli	1	0.16	1390	900	0.006	50000
Poliuretano espanso	100	0.026	35	1460	3,846	82
Sottofondo di cemento	80	0.7	1600	880	0,114	20
Intercapedine ventilata	400	-	-	-	-	-
Sottofondo di cemento	100	0.7	1600	880	0,143	20
Impermeabilizzazione PVC in fogli	1	0.17	1390	900	0,006	50000

S1 - Copertura



U-value	0,1715	W/m ² *K
Spessore	647,7	mm
Massa areica	618,75	kg/m ²

Materiale	Spessore [mm]	Conduktività [W/(m*K)]	Densità [kg/m ³]	Calore specifico J/(kg*K)	Resistenza [m ² *K/W]	Resist. al vapore [GN*s/(kg*m)]
Ghiaia grossa	150	1,2	1700	1000	0,125	45
polistirene espanso	150	0,03	25	1380	5	425
Impermeabilizzazione	2,7	0,17	1390	900	0,0159	1050
Soletta in laterizio	180	0,66	1100	800	0,2727	35
Intonaco	15	1	1800	1000	0,015	25
Intercapedine	87,5	-	-	-	0,16	-
Cartongesso	12,5	0,25	900	1000	0,05	45

5.3. Modelli termici degli ambienti

La fase successiva all'assegnazione delle stratigrafie consiste nell'andare a definire la tipologia di utilizzo dei diversi locali: a seconda della destinazione d'uso, infatti, potrebbero essere previste condizioni termoigrometriche di progetto (umidità e/o temperatura) differenti, oppure diversi carichi termici interni (presenza di un numero più o meno elevato di persone, presenza di illuminazione, di attrezzatura o apparecchiature), in grado di variare i valori di potenza termica necessaria per il raggiungimento delle condizioni di progetto all'interno degli spazi. Queste caratteristiche specifiche andrebbero definite tramite un'analisi fatta in fase preliminare dal progettista congiuntamente al committente, nel momento in cui viene scelta la destinazione d'uso per ogni singolo spazio; in assenza di queste informazioni, è possibile prendere come riferimento i valori definiti dallo Standard ASHRAE 90.1-2013[30] che, nel software IES VE, sono presenti all'interno dei modelli termici (thermal templates).

Entrando nel dettaglio, per il caso studio è stato scelto di mantenere un set-point costante a 21 °C d'inverno e a 24 °C d'estate per tutti gli ambienti dell'ospedale tranne che per le sale operatorie in cui si è deciso di mantenere una temperatura di 21 °C stabili tutto l'anno come indicato all'interno dell'ASHRAE Standard 170-2017. L'umidità relativa è stata fissata al 50% in tutti gli ambienti, valore comunemente utilizzato nella progettazione tradizionale.

Per quanto riguarda i carichi interni, invece, nella quasi totalità degli spazi è stato impostato un carico interno dovuto all'illuminazione pari a 10 W/m². Con riferimento alla tecnologia disponibile attualmente sul mercato, tale valore è ritenuto nella pratica elevato, tuttavia è stato scelto per mantenere un approccio cautelativo.

Per alcuni ambienti specifici (riportati nella tabella sottostante) sono state definite delle potenze per unità d'area diverse per una modellizzazione il più coerente possibile con la realtà, tali valori sono ottenuti dall'esperienza progettuale:

Tabella 16 – Stima delle potenze degli apparecchi illuminanti

Nome dell'ambiente	Potenza apparecchi illuminanti [W/m ²]
Sala operatoria	26,8
Emergency	24,3

Radiologia	18,0
Ambulatorio	18,0
Sala di risveglio	12,4
Area relax	11,5
Locale tecnico	10,2

Per quanto riguarda invece la stima dei carichi interni dovuti alla presenza di persone, confrontando i valori della normativa ASHRAE 90.1-2013 con l'Appendice A della normativa UNI 10339-95, si è deciso di scegliere i primi, perché più dettagliati e cautelativi.

Sono stati considerati, per le diverse tipologie di ambienti, i seguenti affollamenti:

Tabella 17 – Valori di affollamento considerati

Nome dell'ambiente	Affollamento [m²/persona]
Atrio	6,0
Ufficio	8,0
CTR (Area Tecnica Operatori)	8,0
Emergency	1,0
Ambulatorio	9,5
Area relax	4,0
Sala operatoria	5,0
Degenza	9,5
Farmacia	9,5
Fisioterapia	5,0
Radiologia	5,0
Sala di risveglio	5,0
Corridoio	60,0

In seguito a questa analisi risulta che nell'edificio considerato siano presenti indicativamente 700 persone nella condizione peggiore di affollamento.

Infine, per quanto riguarda la stima dei carichi termici dovuti alle attrezzature sono stati utilizzati i valori proposti dal software IES VE, che riferendosi alla ASHRAE Standard 90.1, indica i seguenti valori di potenza:

Tabella 18 – Carichi derivanti dalle attrezzature

Nome dell'ambiente	Carico termico attrezzature (W/m ²)
Farmacia	16,1
Ambulatorio	16,1
Fisioterapia	5,4
Ufficio	16,1
Sala relax	16,1
Degenza	16,1

È importante che la simulazione energetica sia il più possibile coerente con la realtà. Per questo motivo, per gli ambienti riportati in Tabella 22, si è deciso di assegnare un valore di potenza differente da quanto indicato dallo Standard, essendo noti dall'esperienza progettuale valori più verosimili per la potenza dei macchinari/attrezzature presenti:

Tabella 19 – Carichi per attrezzature specifiche

Nome dell'ambiente	Carico termico attrezzature (W)
Radiologia	7000
Emergency	1200
Sala risveglio	1200
Sala operatoria	1000
Atrio	1000

In seguito all'assegnazione dei Thermal Templates, si è proseguito con l'acquisizione dei dati relativi all'apporto solare su base annua nella località impostata, e si sono ricavati i seguenti carichi termici totali dell'intero edificio:

Tabella20 – Carichitermici calcolati

	Potenza (kW)	Potenza su A_{lorda} (W/m²)	Potenza su A_{netta} (W/m²)
Carico contemporaneo sensibile raffrescamento	500,7	37,9	52,9
Carico contemporaneo sensibile riscaldamento	123,3	9,3	13,0
Carico latente	57,5	4,4	6,1

I valori riportati in Tabella 23 rappresentano tuttavia dei valori di primo tentativo, utili solo per una stima iniziale dei carichi totali.

È ragionevole ipotizzare che l'elevato valore di carico sensibile di raffrescamento che si evidenzia dalla prima simulazione sia in buona parte imputabile alla facciata vetrata continua, la quale facilita gli apporti solari. Tale effetto può essere ridotto attraverso l'adozione di opportuni ombreggiature esterni (denominati "shadings"). È dunque parte integrante della progettazione, e prossimo step da effettuare, anche la definizione del loro layout.

5.4. Scelta degli ombreggiamenti

Costruito il modello, si è deciso di studiare l'adozione di due diverse configurazioni degli ombreggiamenti al fine di ridurre gli apporti solari termici:

- La prima configurazione (Figura 3) è caratterizzata da soleombreggiature orizzontali di profondità 450 mm e altezza 600 mm, che corrono per tutto il perimetro di ogni piano dell'edificio, esclusi i lati del piano terra in cui il piano superiore garantisce l'ombreggiamento.

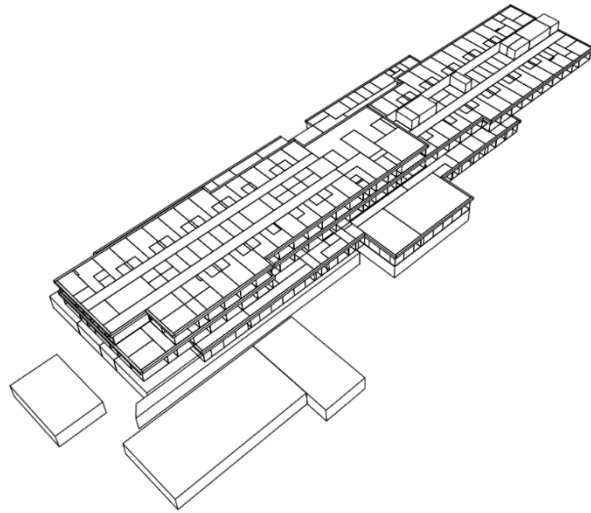


Figura 3 – Modello con ombreggiamenti orizzontali

- La seconda configurazione (Figura 4) è caratterizzata, oltre che dalla presenza di ombreggiature orizzontali, da ombreggiature verticali disposti su tutto il perimetro di ogni piano con un passo di 3 m, esclusi i lati nord e sud del piano terra.

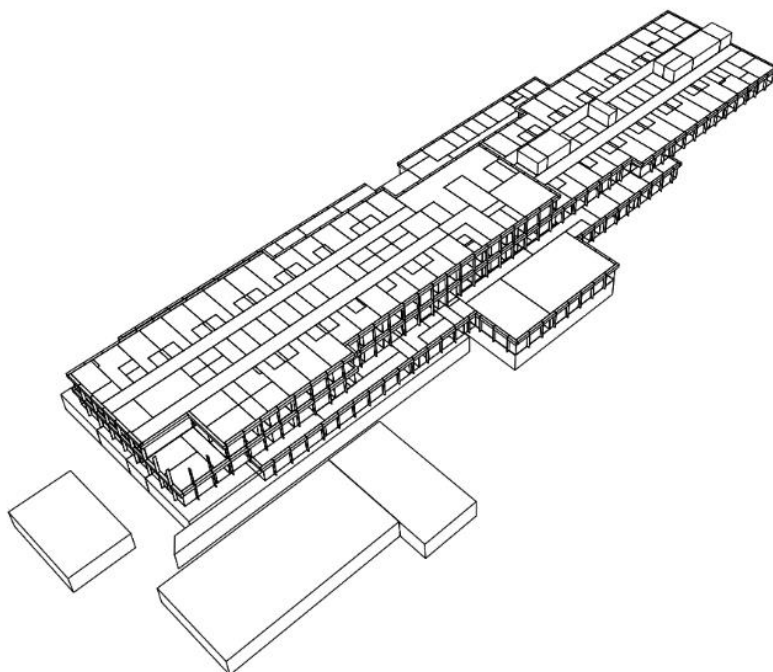


Figura 4 – Modello con ombreggiamenti orizzontali e verticali

Per poter compiere una scelta tra le due configurazioni proposte, sono stati confrontati i valori di apporti solari e rapportati al caso base dell'edificio senza ombreggiamenti. I report delle simulazioni sono riportati nella Tabella 24:

Tabella 21 – Report prestazionale degli ombreggiamenti

CASO SENZA OMBREGGIAMENTI

	Potenza (kW)
Apporto solare max	222,8
Apporto solare medio	88,6

**CASO OMBREGGIAMENTI
ORIZZONTALI**

	Potenza (kW)
Apporto solare max	197,5
Apporto solare medio	76,7
Riduzione %	13,5

**CASO
OMBREGGIAMENTI ORIZZONTALI
E VERTICALI**

	Potenza (kW)
Apporto solare max	192,2
Apporto solare medio	72,7
Riduzione %	18,0

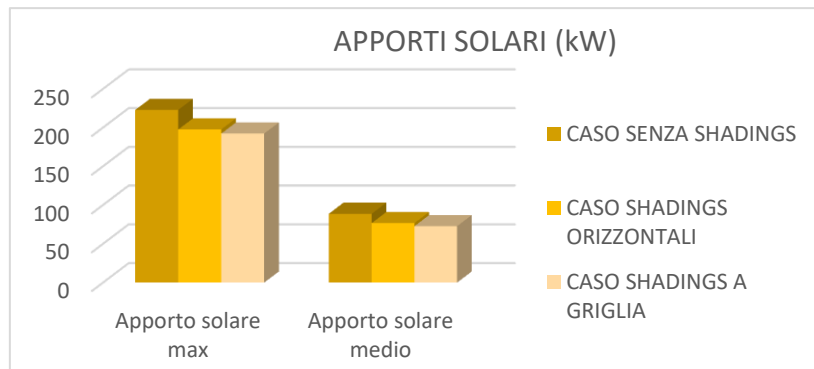


Figura 5 – Confronto degli apporti solari

In seguito a quest'analisi, risulta evidente la superiorità prestazionale delle ombreggiature della seconda configurazione, che consentono una riduzione degli apporti solari del 18% rispetto al caso base di partenza, contro il 13,5% di riduzione prevista con gli ombreggiamenti della prima tipologia.

5.5. Caratterizzazione impiantistica

Conclusa la prima fase della modellazione con l'assegnazione delle stratigrafie, dei modelli termici e degli ombreggiamenti, si procede a caratterizzare l'impianto.

La scelta della tipologia d'impianto è un punto chiave della progettazione, in quanto dovrà essere scelto per poter soddisfare i requisiti di ventilazione e dei carichi termici.

Nell'ambito degli impianti a ventilazione meccanica, è tipicamente possibile scegliere tra un impianto "a tutt'aria", ovvero un impianto in cui la ventilazione soddisfa sia i ricambi orari minimi che i carichi termici e un impianto di tipo misto, cioè ad aria primaria e fancoil, nel quale l'aria primaria garantisce i ricambi orari minimi e i fancoil il soddisfacimento dei carichi termici sensibili.

Trattandosi di un ambiente ospedaliero, la scelta è ricaduta su un impianto a tutt'aria per i seguenti motivi:

- migliore gestione delle pressioni;
- controllo più accurato dei carichi latenti;
- controllo più accurato dei contaminanti.

La prima caratteristica è di vitale importanza per un impianto ospedaliero, poiché l'adozione di differenti pressioni tra gli ambienti, come indicato nelle normative analizzate ai capitoli 1 e 2, evita flussi d'aria indesiderati da ambienti

potenzialmente contaminati verso ambienti in cui è richiesta una maggiore qualità dell'aria.

Dal momento che la normativa DIN-1946 non riporta valori quantitativi di pressione da rispettare (stabilendo unicamente quali ambienti sia opportuno progettare a pressione positiva e quali a pressione negativa, come illustrato al Cap.1) e che la normativa ASHRAE 170-2017 indica dei valori minimi ritenuti in tal caso esigui nella pratica, si sono adottati i seguenti valori di pressione differenziale da mantenere, in accordo con l'esperienza progettuale:

Tabella22 – Pressioni di riferimento

Tipologia ambiente	Pressione [Pa]
Corridoio	10
Bagno	-10
Degenza	5
Sala operatoria	15
Area relax	-5
Ambulatorio	10
Zona sterilizzazione	5
Deposito sporco	-5
Ufficio	5

L'ospedale di cui si sta facendo la trattazione non è una struttura in cui è previsto che siano normalmente ricoverati pazienti infettivi e per questo motivo non vi è la necessità a priori di mettere in depressione le degenze, principale strategia indicata dagli standard presentati per il contenimento della diffusione batterica.

Pressioni positive sono state imposte per evitare infiltrazioni da ambienti esterni, al contrario pressioni negative o fortemente negative (come nel caso dei bagni) sono state previste per evitare che l'aria esfiltrasse da questi ambienti considerati potenzialmente carichi di particolato e sostanze che potrebbero mettere a rischio la salute dei pazienti e del personale della struttura.

Sono stati considerati i possibili trafileamenti d'aria (infiltrazioni ed esfiltrazioni) dovuti allo spazio sottostante alle porte, considerando un'area netta di passaggio di 0,0018 m²: questo valore è stato ottenuto considerando per semplicità di calcolo una tipologia unica di porta, di dimensioni 0,90 metri x 2,10 metri, ipotizzando un'altezza sottoporta di 2 millimetri.

Inoltre, per considerare possibili trafiletti d'aria attraverso il controsoffitto, è stato considerato nei calcoli l'utilizzo di pannelli non siliconati, ipotizzando quindi la progettazione nella condizione più sfavorevole.

La scelta di considerare diversi valori di pressione a seconda della tipologia di ambiente ha come conseguenza la generazione di flussi d'aria tra ambienti con pressione differente. Questo aspetto è stato considerato andando a calcolare una sovrappressione (o sottopressione) tra ogni singolo ambiente e gli ambienti confinanti: è stato tenuto fisso il valore della portata d'aria immessa mentre la portata d'aria estratta da ogni ambiente è stata maggiorata o diminuita della portata relativa alla differenza di pressione, permettendo così che ogni ambiente rimanesse con il valore di pressione fissata.

Infine, per garantire la massima salubrità degli ambienti, si è deciso di evitare di effettuare il ricircolo dell'aria, espellendo totalmente l'aria estratta.

Alla luce della recente esperienza pandemica, è possibile affermare che un aspetto cruciale della buona progettazione sia quello di poter garantire la maggiore flessibilità all'impianto. In casi come quello della pandemia da COVID-19, l'aumento della richiesta di terapie intensive e locali dove posizionare pazienti positivi al virus, ha costituito un problema da fronteggiare, talvolta risolto utilizzando locali inizialmente non progettati per quello specifico scopo.

Per scongiurare l'insorgere di difficoltà organizzative di questo tipo in un prossimo futuro, si è deciso di rendere possibile la conversione, al presentarsi del bisogno, di tutti gli ambienti ambulatoriali in terapie intensive e di prevedere la destinazione di parte delle degenze al collocamento di pazienti infettivi.

In tali ambienti verrà garantito, in caso di necessità, il raggiungimento di una condizione di depressione di 10 Pa.

Stabiliti questi intenti progettuali, si procede con il calcolo delle portate d'aria necessarie ai singoli ambienti, svolgendo la trattazione solo per il caso in cui gli spazi ambulatoriali vengano utilizzati come reparti COVID-19.

In primo luogo, è importante conoscere il valore minimo di ricambi orari da garantire locale per locale, nel rispetto delle normative vigenti.

Come evidenziato al Capitolo 3, In Italia vige, per l'accreditamento delle strutture ospedaliere, il decreto ministeriale 70 del 2 aprile 2015, che rimanda, per i requisiti tecnici impiantistici, al decreto del Presidente della Repubblica del 14 gennaio 1997.

All'interno del Decreto sono indicati i valori di temperatura, minimi ricambi orari, umidità relativa e filtrazione per le principali tipologie di ambiente. Dall'analisi presentata al Capitolo 4 risulta che il decreto non richieda requisiti specifici per la

totalità degli ambienti ospedalieri, pertanto, in ottica progettuale, si rende necessario stabilire i parametri mancanti facendo riferimento ad altre direttive. A questo scopo, in passato, la direttiva più utilizzata era la UNI 10339/95, di semplice consultazione, che per gli ambienti ospedalieri richiedeva i minimi ricambi elencati nella Tabella 16:

Tabella 23 - Richiamo dei valori di ricambi minimi secondo UNI 10339/95

Tipologia di ambiente	Portata di aria esterna [$10^{-3}/m^3 \cdot persona$]
Degenze (2-3 letti)	11,0
Corsie	11,0
Camere per infettivi	11,0
Sale mediche/soggiorni	8,5
Terapie fisiche	11,0

Come si nota dalla Tabella soprastante, la Direttiva UNI 10339/95 indicava dei valori di portata minimi in relazione all'affollamento (le quantità sono espresse in m^3/s per persona), e ciò rendeva necessario conoscere (o poter ipotizzare nel modo più realistico possibile) a priori il numero di persone che avrebbero occupato gli ambienti⁵. Oltre a questa problematica, è possibile notare come anche la UNI 10339/95 non affronti la totalità degli ambienti ospedalieri e preveda la medesima portata per tipologie di ambienti completamente differenti. A seguito di questa osservazione e della analisi proposta al Capitolo 4, si è ritenuto opportuno adottare come riferimento normativo per i minimi ricambi orari per i locali non indicati nel DPR 14/01/1997 lo standard ASHRAE Standard 170.

Trattandosi di un impianto a tutt'aria, le portate di ventilazione devono assolvere anche al compito di garantire la potenza termica necessaria per il raggiungimento delle condizioni termoigrometriche di progetto.

Si è effettuato il calcolo delle portate per il caso più gravoso in termini di potenza termica richiesta (caso estivo). È quindi possibile calcolare le portate necessarie per questo scopo (in m^3/h) attraverso la formula riportata di seguito:

⁵ È possibile, in alternativa, riferirsi a valori di affollamento standard presenti nell'Appendice A della Normativa 10339/95.

Equazione 2 – calcolo delle portate per assolvere ai carichi termici

$$\dot{V} = \dot{Q} / [\rho * c * (T_{imm} - T_{des}) * 3600]$$

In cui:

Q: Potenza termica sensibile richiesta [W];

ρ: Densità media dell'aria, assunta pari a 1.225 kg/m³;

c: calore specifico medio dell'aria, assunto pari a 1006 J/(kg*K);

T_{imm}: Temperatura di immissione dell'aria negli ambienti, assunta pari a 17°C, valore di primo tentativo comunemente utilizzato nella pratica progettuale;

T_{des}: Temperatura di progetto degli ambienti (24°C per il caso estivo).

Al termine di questo calcolo, è stato possibile confrontare i valori di portata ottenuti con i valori di portata richiesti dai minimi requisiti di ventilazione precedentemente illustrati, e scegliere per ogni ambiente il valore più elevato tra i due.

Si è riscontrato che nella maggior parte dei casi (69,5% delle stanze), la portata d'aria per assolvere ai carichi termici risulta essere superiore alla portata d'aria richiesta per la ventilazione. Nel caso in cui la portata di ventilazione risultasse essere superiore alla portata richiesta per i carichi, è possibile calcolare una nuova temperatura di immissione ricorrendo alla formula precedentemente utilizzata. In tali casi è ragionevole attendersi, alla luce di una maggiore portata a disposizione, una temperatura più elevata rispetto ai 17°C di primo tentativo.

Noti quindi i valori di carichi termici invernali e la portata d'aria immessa (calcolata nel caso estivo), sono state calcolate a ritroso le temperature di immissione per ogni ambiente anche per il caso invernale (meno gravoso in termini di potenza termica richiesta).

Si riportano di seguito in una tabella riassuntiva i valori medi per piano, pesati sulle aree:

Tabella 24 – Temperature medie di immissione calcolate

	Estate [°C]	Inverno [°C]
Piano 0	17	23
Piano 1	18	25

Piano 2	17	22
---------	----	----

Per quanto riguarda invece la scelta della filtrazione, ci si riferisce alla normativa europea UNI EN 16798-3 (presentata al paragrafo 1.2), la quale richiede un'efficienza combinata di filtrazione pari almeno all'88%, da ottenersi con l'adozione di un pre filtro M5 ed un F7. Questo valore è stato ottenuto ipotizzando di progettare l'ospedale in una zona rurale in cui l'aria esterna può essere classificata come ODA 1 in base alla normativa UNI EN 16798 Parte 3 e imponendo il livello di aria immessa negli ambienti più stringente pari a SUP 1. Per le sale operatorie verranno previsti invece filtri assoluti, in accordo con il DPR 14/01/1997.

5.6. Scelta delle unità di trattamento aria

In seguito al calcolo delle portate, si è deciso di suddividere i piani dell'ospedale in zone climatizzate, per poter stabilire il numero e le caratteristiche delle Unità di Trattamento Aria (UTA) necessarie a climatizzare l'edificio.

Si riporta di seguito (Figura 6) la suddivisione dello spazio evidenziando le zone servite da ciascun UTA:

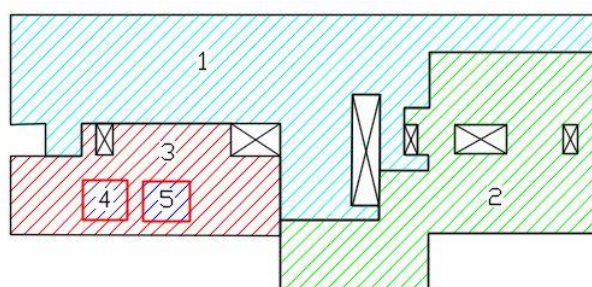


Figura 6 - Suddivisione area per UTA piano 0

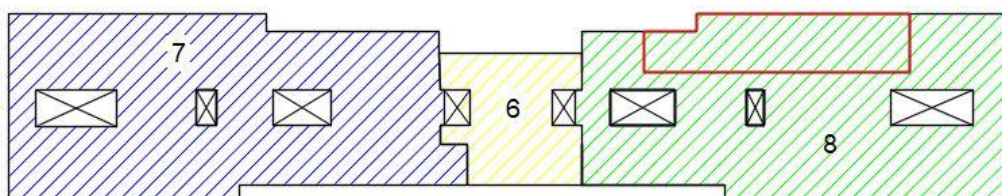


Figura 7 - Suddivisione area per UTA piano 1

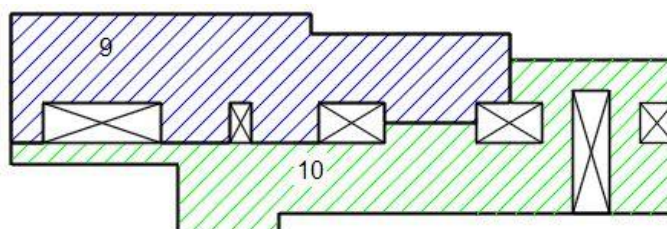


Figura 8 - Suddivisione area per UTA piano 2

Come criterio di suddivisione si è cercato di servire con la stessa UTA zone limitrofe del piano e di avere delle portate totali d'aria inferiori a 60000 m³/h sia in mandata che in ripresa. Si è deciso di progettare delle UTA dedicate per le sale operatorie.

Per le motivazioni indicate al Paragrafo precedente, al piano primo, l'UTA 8 è dimensionata per garantire in caso di emergenza la depressione delle degenze all'interno del perimetro indicato in colore rosso al piano 1.

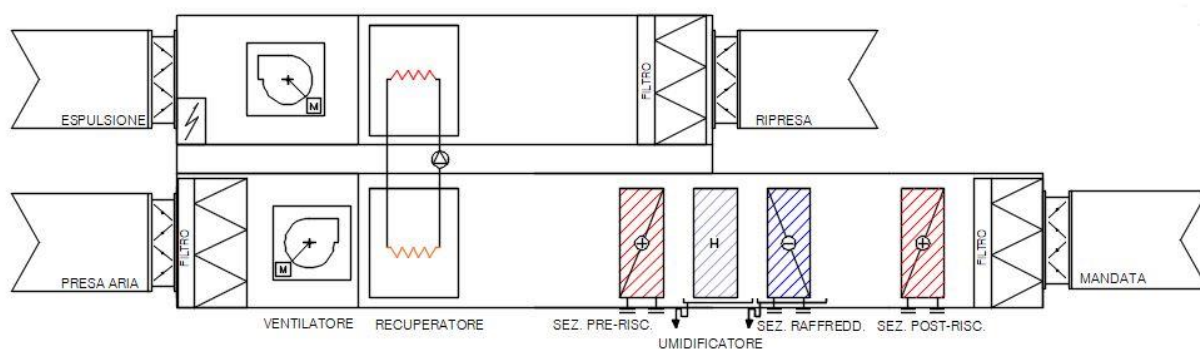
In seguito a questi criteri si sono ottenute le seguenti portate:

Tabella 25 – Portate d'aria esterna calcolate per le UTA

Codice UTA	Mandata [m ³ /h]	Ripresa [m ³ /h]
1	53.530	55.030
2	40.880	41.310
3	18.950	17.900
4 (SO)	2.080 ¹	1.860
5 (SO)	2.120 ¹	1.860
6	12.300	12.320
7	53.680	52.690
8	54.490	55.190
9	33.220	36.960
10	28.940	30.710

¹ La portata totale della sala operatoria è dettagliata nel paragrafo dedicato

Per risalire alla potenza richiesta in centrale è necessario stimare le potenze richieste dalle UTA. Esse sono composte da recuperatore, batteria di preriscaldamento, sezione di umidificazione, batteria di raffreddamento e batteria di post riscaldamento.



Si riporta di seguito lo svolgimento dettagliato per ricavare le potenze richieste dalla batteria fredda e calda per i due casi che possono essere presi come esempio per tutte le UTA presenti in questo caso studio:

- UTA 7, la cui portata di mandata è superiore alla portata di ripresa (essa è a servizio, pertanto, di una zona a pressione positiva);
- UTA 8, la cui portata di mandata è inferiore alla portata di ripresa (essa è a servizio, pertanto, di una zona a pressione negativa);

Per aumentare l'efficienza dell'impianto, è consuetudine prevedere un recupero di calore dall'aria estratta. In questo caso studio si è scelto di considerare uno scambiatore dell'UTA a batterie accoppiate con solo recupero sensibile di potenza, necessario per evitare possibilità di cross contamination, in accordo con ASHRAE Standard 170. Per uno scambiatore di questa tipologia presente attualmente sul mercato, un valore di efficienza di recupero di calore sensibile può essere assunto ragionevolmente attorno al 40%.

Nella rappresentazione delle trasformazioni sul diagramma ASHRAE gioca un ruolo fondamentale il fattore di bypass (BPF), definito come il rapporto tra la differenza della temperatura di uscita dalla batteria fredda (T_2) e la temperatura di Apparatus Dew Point (ovvero la temperatura di condensazione, T_{ADP}) e la differenza della temperatura d'ingresso dalla batteria fredda (T_2) e la temperatura di Apparatus Dew Point (T_{ADP}). Anche qui è stato scelto un valore nella media di BPF pari al 15%.

Per garantire il funzionamento invernale in caso di guasto della batteria calda, la batteria di pre-riscaldamento nel caso invernale è stata sovradimensionata per portare l'aria a 27 °C, in modo tale che, se si volesse, si potrebbe gestire con essa tutto il carico termico.

Per garantire il post-riscaldamento estivo, anche tale batteria è stata leggermente sovradimensionata per scaldare l'aria fino a 27 °C, avendo come riferimento il valore massimo di temperatura richiesta da ogni ambiente di 25 °C, contemplando il possibile sporcamento della batteria nel corso della vita dell'impianto.

Come anticipato, per migliorare l'efficienza dell'impianto, si è deciso di prevedere un recupero di calore sensibile. Al fine di effettuare un dimensionamento cautelativo, tuttavia, si è ritenuto opportuno dimensionare la batteria di preriscaldamento trascurandone il contributo, garantendo quindi le condizioni di immissione dell'aria anche in caso di guasto del recuperatore.

Si riporta nella seguente tabella i dati di potenze richieste e temperature di immissione calcolate, relativi all'Unità Trattamento Aria zona 7:

Tabella 26 – Stima delle potenze dei locali serviti dall'UTA 7

Nome Locale	Area [m ²]	ESTATE			INVERNO	
		Q _{sens} [kW]	Q _{lat} [kW]	T _{imm} [°C]	Q _{sens} [kW]	T _{imm} [°C]
Attesa 1041	22,19	2,83	0,03	17,24	0,62	22,46
Ufficio 1040	16,35	2,80	0,32	17,30	0,36	21,50
Bagno 1039	5,40	0,18	0,01	20,64	0,03	21,52
Bagno 1038	5,40	0,19	0,01	20,55	0,03	21,52
Ambulatorio 1037	16,23	2,95	0,30	17,30	0,34	21,50
Area relax 1036	21,14	3,98	1,48	17,23	0,37	21,46
Lavanderia 1057	8,31	0,43	0,01	18,95	0,03	21,37
Lavanderia 1058	8,23	0,42	0,01	19,00	0,03	21,37
CTR 1059	8,91	0,44	0,17	17,24	0,03	21,38
CTR 1060	8,82	0,44	0,17	17,30	0,03	21,38
Ufficio 1055	8,43	0,44	0,17	17,30	0,03	21,50
Ufficio 1056	8,35	0,44	0,16	17,30	0,03	21,50
Bagno 1031	4,95	0,16	0,01	20,78	0,03	21,54
Degenza 1032	15,90	2,50	0,20	17,22	0,34	21,86
Degenza 1033	16,43	2,62	0,21	17,22	0,35	21,83
Bagno 1034	4,68	0,16	0,01	20,59	0,03	21,60
Bagno 1026	4,81	0,14	0,01	21,04	0,02	21,51
Degenza 1027	24,99	2,91	0,22	17,23	0,39	21,84
Degenza 1028	25,61	3,19	0,22	17,23	0,56	22,10
Bagno 1029	4,61	0,14	0,01	20,98	0,03	21,62
Degenza 1019	25,01	2,90	0,22	17,20	0,38	21,82
Bagno 1020	4,78	0,14	0,01	21,06	0,02	21,50
Degenza 1023	24,99	2,87	0,22	17,21	0,38	21,83
Bagno 1024	4,77	0,14	0,01	21,06	0,02	21,50
Bagno 1016	4,86	0,14	0,01	21,18	0,03	21,54
Degenza 1017	24,82	2,88	0,22	17,23	0,39	21,84
Degenza 1018	25,07	2,90	0,22	17,24	0,38	21,83
Bagno 1022	4,78	0,14	0,01	21,02	0,03	21,53
Bagno 1010	24,87	2,73	0,04	17,25	0,51	22,24
Degenza 1013	25,26	2,90	0,22	17,21	0,47	22,02
Bagno 1014	4,73	0,14	0,01	20,91	0,04	21,88
Bagno 1008	4,85	0,15	0,01	21,09	0,04	21,80
Bagno 1009	4,67	0,18	0,01	20,20	0,05	21,94
Lavanderia 1007	8,17	1,51	0,01	17,21	0,26	22,16
Corridoio 1044	6,82	0,12	0,01	17,77	0,04	22,70

Scelta delle unità di trattamento aria

Ufficio 1011	17,68	3,73	0,35	17,30	0,78	21,50
Corridoio 1006	145,73	3,57	0,22	17,23	0,92	22,65
Corridoio 1046	11,36	0,17	0,02	17,33	0,04	22,25
Deposito medico 1047	12,63	0,40	0,02	17,37	0,04	21,61
Deposito medico 1048	13,50	0,48	0,02	17,21	0,05	21,70
Bagno 1080	4,72	0,14	0,01	21,00	0,03	21,59
Nome Locale	Area [m²]	Q_{sens} [kW]	Q_{lat} [kW]	T_{imm} [°C]	Q_{sens} [kW]	T_{imm} [°C]
Degenza 1081	16,25	2,35	0,21	17,24	0,36	21,95
Degenza 1082	16,54	2,51	0,21	17,24	0,36	21,90
Bagno 1083	4,68	0,14	0,01	20,92	0,03	21,66
Ambulatorio 1085	16,30	2,80	0,30	17,30	0,35	21,50
Ambulatorio 1086	5,51	0,31	0,01	17,30	0,03	21,50
Bagno 1087	5,34	0,17	0,01	20,78	0,03	21,55
Area relax 1088	16,49	2,73	0,39	17,20	0,35	21,77
Area relax 1089	16,33	3,41	1,11	17,24	0,35	21,53
Bagno 1090	5,50	0,18	0,01	20,87	0,03	21,51
Bagno 1091	5,35	0,17	0,01	20,85	0,03	21,53
Ufficio 1092	16,56	2,74	0,32	17,30	0,35	21,50
Attesa 1093	22,26	2,30	0,03	17,21	0,38	22,10
Bagno 1094	3,19	0,11	0,00	20,84	0,02	21,66
Bagno 1095	3,29	0,97	0,01	17,20	0,15	22,03
Bagno 1096	14,25	1,27	0,02	17,28	0,23	22,19
Lavanderia 1050	12,95	0,68	0,02	18,85	0,05	21,37
Lavanderia 1051	11,11	0,55	0,02	19,09	0,03	21,30
Area relax 1052	13,04	0,77	0,38	17,29	0,06	21,32
Corridoio 1061	22,23	0,39	0,03	17,29	0,10	22,56
Ufficio 1001	21,63	4,32	0,57	17,30	0,95	21,50
Ufficio 1002	21,60	2,64	0,57	17,30	0,55	21,50
Corridoio 1003	148,18	3,67	0,23	17,21	0,97	22,69
Corridoio 1004	16,59	0,44	0,03	17,38	0,22	24,19
Corridoio 1063	17,03	1,57	0,03	17,20	0,38	22,62
Deposito medico 1064	15,08	2,38	0,02	17,26	0,40	22,13
Bagno 1065	14,34	0,38	0,02	21,30	0,13	21,85
Degenza 1067	24,67	2,69	0,22	17,25	0,41	21,94
Bagno 1068	4,88	0,13	0,01	21,36	0,03	21,57
Bagno 1070	4,68	0,13	0,01	21,27	0,03	21,58
Degenza 1071	24,86	2,71	0,22	17,25	0,39	21,91
Degenza 1072	24,73	2,67	0,22	17,23	0,39	21,92
Bagno 1073	4,88	0,13	0,01	21,43	0,03	21,56
Bagno 1075	4,72	0,12	0,01	21,44	0,03	21,56
Degenza 1076	24,94	2,65	0,22	17,22	0,41	21,96
Degenza 1077	25,21	2,89	0,22	17,23	0,56	22,23
Bagno 1078	4,87	0,13	0,01	21,46	0,03	21,62
Corridoio 1045	6,74	0,12	0,01	16,55	0,04	23,05
TOT		109,97	11,26		17,82	21,95

TOT_{sens+lat,est}	121,24
Timm [°C]	16,6
Timm,invernale [°C]	24,9

Si riporta nella seguente tabella i dati relativi all'Unità Trattamento Aria 8:

Tabella 27 – Stima delle potenze dei locali serviti dall'UTA 8

Nome Locale	Area [m ²]	ESTATE			INVERNO	
		Q _{sens} [kW]	Q _{lat} [kW]	T _{imm} [°C]	Q _{sens} [kW]	T _{imm} [°C]
Bagno 1107	5,5	0,30	0,01	18,55	0,10	22,70
Ambulatorio 1108	16,7	3,44	0,30	17,30	0,64	22,00
Area relax 1109	21,7	4,08	1,48	17,24	0,47	21,57
Degenza 1110	16,2	2,69	0,21	17,22	0,41	21,95
Bagno 1111	4,8	0,18	0,01	20,27	0,05	22,04
Bagno 1113	4,8	0,17	0,01	20,31	0,05	22,04
Degenza 1114	15,8	2,58	0,20	17,20	0,40	21,98
Degenza 1115	25,8	3,29	0,22	17,22	0,65	22,25
Bagno 1116	4,7	0,16	0,01	20,63	0,05	22,08
Degenza 1118	24,5	2,83	0,22	17,20	0,47	22,05
Bagno 1119	4,9	0,15	0,01	20,97	0,05	21,93
Degenza 1120	25,6	3,00	0,22	17,23	0,49	22,03
Bagno 1121	4,7	0,15	0,01	20,76	0,05	22,00
Bagno 1123	4,9	0,16	0,01	20,73	0,07	22,28
Degenza 1124	25,0	3,03	0,22	17,23	0,57	22,18
Lavanderia 1145	10,1	0,53	0,02	18,78	0,07	21,71
Ufficio 1146	11,5	0,67	0,23	17,30	0,12	22,00
CTR 1144	8,0	0,48	0,16	17,24	0,09	21,94
CTR 1147	8,0	0,48	0,16	17,26	0,09	21,94
Lavanderia 1148	10,0	0,53	0,02	18,79	0,08	21,72
Attesa 1164	22,3	2,51	0,03	17,20	0,52	22,40
Bagno 1165	5,0	0,21	0,01	19,87	0,06	22,09
Ambulatorio 1166	16,9	2,89	0,30	17,30	0,42	22,00
Area relax 1167	21,8	3,95	1,48	17,23	0,45	21,57
Bagno 1170	4,8	0,17	0,01	20,41	0,05	22,06
Degenza 1171	16,4	2,60	0,21	17,20	0,41	21,99
Degenza 1172	15,9	2,44	0,20	17,20	0,40	22,02
Bagno 1173	4,7	0,16	0,01	20,64	0,05	22,02
Bagno 1175	4,9	0,15	0,01	21,00	0,05	22,03
Degenza 1176	25,7	3,09	0,22	17,24	0,65	22,33
Degenza 1177	24,9	2,81	0,22	17,25	0,50	22,11
Bagno 1178	4,7	0,14	0,01	21,00	0,05	22,01
Corridoio 1105	24,8	0,73	0,04	17,12	0,31	23,80

Scelta delle unità di trattamento aria

Bagno 1180	4,8	0,15	0,01	21,09	0,05	22,03
Degenza 1181	24,8	2,80	0,22	17,25	0,54	22,21
Ufficio 1152	12,1	0,62	0,24	17,30	0,10	22,00
Lavanderia 1153	10,9	0,59	0,02	18,77	0,11	21,94
Corridoio 1154	11,7	0,29	0,02	17,15	0,17	24,64
Nome Locale	Area [m²]	Q_{sens} [kW]	Q_{lat} [kW]	T_{imm} [°C]	Q_{sens} [kW]	T_{imm} [°C]
Area relax 1151	8,1	0,62	0,37	17,23	0,08	21,53
Area relax 1150	8,1	0,62	0,37	17,22	0,08	21,54
Corridoio 1106	145,1	3,94	0,22	17,21	1,83	23,98
Degenza 1125	25,0	3,04	0,22	17,21	0,57	22,19
Bagno 1126	4,8	0,16	0,01	20,52	0,07	22,37
Bagno 1128	4,8	0,16	0,01	20,49	0,07	22,39
Degenza 1129	25,0	3,02	0,22	17,20	0,57	22,20
Degenza 1130	25,1	3,04	0,22	17,25	0,57	22,18
Bagno 1131	4,7	0,16	0,01	20,54	0,07	22,37
Bagno 1133	4,9	0,17	0,01	20,71	0,07	22,30
Degenza 1134	24,8	2,99	0,22	17,20	0,56	22,19
Bagno 1135	16,9	2,45	0,03	17,25	0,48	22,31
Deposito medico 1137	13,2	0,58	0,02	17,11	0,16	22,82
Corridoio 1138	14,4	0,48	0,02	17,20	0,19	23,60
Bagno 1139	7,3	1,69	0,01	17,24	0,30	22,19
Ufficio 1140	21,3	4,35	0,57	17,30	0,93	22,00
Ufficio 1141	16,0	1,41	0,31	17,30	0,45	22,00
Deposito medico 1155	12,1	0,50	0,02	17,23	0,17	23,27
Deposito medico 1156	13,6	0,57	0,02	17,30	0,20	23,23
Corridoio 1157	6,3	0,19	0,01	16,93	0,11	24,92
Corridoio 1163	147,4	4,20	0,23	17,24	2,03	24,10
Degenza 1182	24,9	2,83	0,22	17,25	0,57	22,27
Bagno 1183	4,7	0,17	0,01	20,39	0,08	22,70
Bagno 1185	4,8	0,17	0,01	20,32	0,08	22,73
Degenza 1186	24,8	2,88	0,22	17,20	0,60	22,31
Degenza 1187	24,8	2,88	0,22	17,25	0,60	22,31
Bagno 1188	4,7	0,18	0,01	20,21	0,09	22,83
Bagno 1190	4,9	0,18	0,01	20,41	0,09	22,76
Degenza 1191	24,9	2,82	0,22	17,23	0,60	22,35
Deposito medico 1192	6,5	0,33	0,01	17,08	0,12	23,35
Deposito medico 1193	6,4	0,31	0,01	17,38	0,11	23,25
Bagno 1195	16,7	2,27	0,03	17,24	0,48	22,42
Corridoio 1196	14,4	0,50	0,02	17,27	0,23	24,05
Corridoio 1159	6,3	0,17	0,01	17,47	0,10	24,57
Corridoio 1162	17,0	1,14	0,03	17,19	0,54	24,17
Bagno 1197	7,2	1,53	0,01	17,23	0,30	22,32
Ufficio 1198	21,3	3,80	0,30	17,30	0,93	22,00
Ufficio 1199	15,9	1,66	0,57	17,30	0,46	22,00
TOT		113,37	11,92		25,40	21,53

TOT _{sens+lat,est}	125,28
Timm,estiva [°C]	16,9
Timm,invernale [°C]	24,9

Per avere un'idea delle trasformazioni subite dall'aria all'interno delle UTA, si riportano i diagrammi psicrometrici reali (cioè con una temperatura dell'aria d'immissione tale da garantire le condizioni di set-point, al netto dei carichi termici) delle tre UTA analizzate:

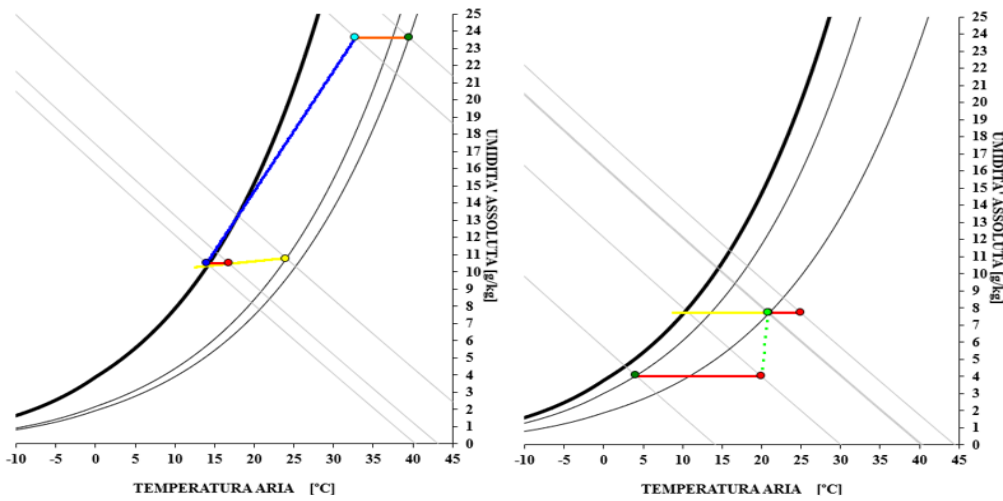


Figura 9 – Diagramma psicrometrico UTA 7

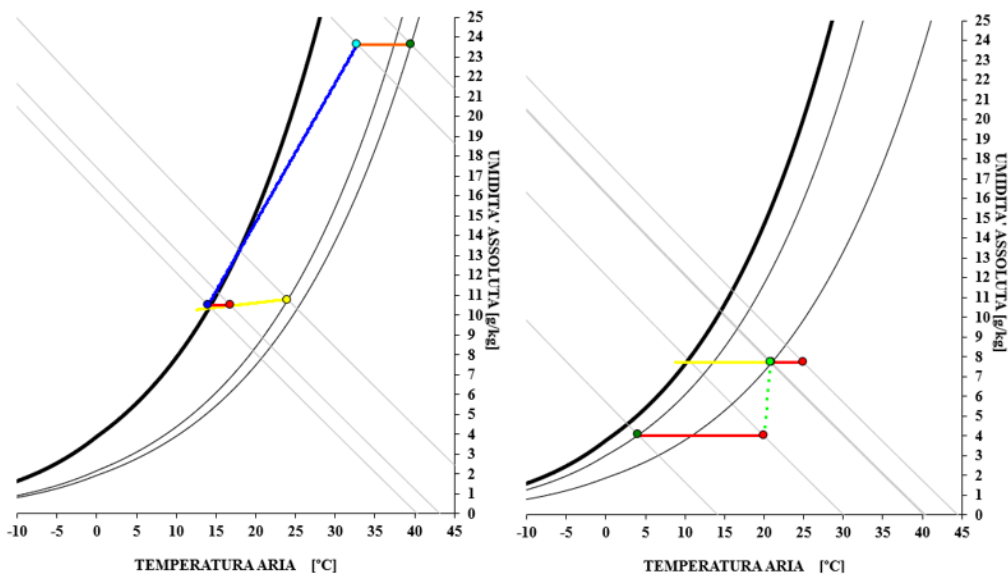


Figura 10 – Diagramma psicrometrico UTA 8

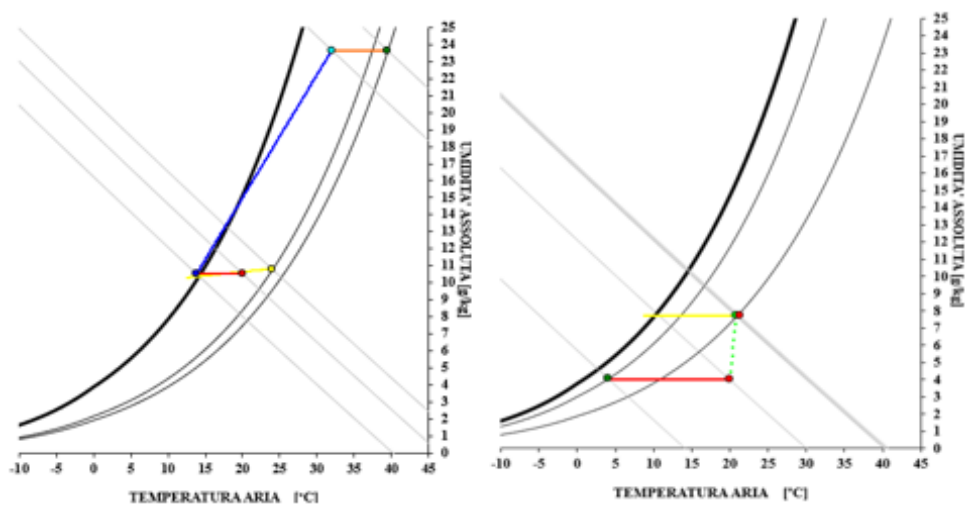


Figura 11- Diagramma psicrometrico UTA 5 (SO)

Di seguito si riportano le condizioni dei punti che caratterizzano le curve suldiagramma psicrometrico:

Tabella 28 – Punti del diagramma psicrometrico nel caso estivo

UTA	ARIA ESTERNA		REC. CALORE		RAFFREDDAMENTO				POSTRISCALDAMENTO		
	T [°C]	UR %	T [°C]	UR %	T _{rug} [°C]	T [°C]	UR %	Potenza [kW]	T [°C]	UR %	Potenza [kW]
7	40,0	50,0	33,4	50,0	11,0	14,4	55,0	258,9	16,6	55,0	13,4
8	40,0	50,0	32,5	50,0	10,6	13,9	55,0	304	16,7	55,0	16,6
5 (SO)	40,0	50,0	33,0	50,0	11,0	14,3	55,0	59,4	20,0	55,0	5,6

Tabella 29 – Punti del diagramma psicrometrico nel caso invernale

UTA	ARIA ESTERNA		REC. CALORE		PRERISCALDAMENTO			UMIDIFICAZIONE			POST RISCALDAMENTO		
	T [°C]	UR %	T [°C]	UA [g/kg]	T [°C]	UA [g/kg]	Potenza [kW]	T [°C]	UA [g/kg]	Potenza [kW]	T [°C]	UR %	Potenza [kW]
7	4,1	80,0	9,7	4,0	20	4,0	61,7	20,8	7,7	39,1	27	50,0	24,3
8	4,1	80,0	10,8	4,0	20	4,0	94,7	20,8	7,7	60,1	27	50,0	37,3
5 (SO)	4,1	80,0	10,0	4,0	20	4,0	19,3	20,8	7,7	12,2	27	50,0	7,6

5.7. Sala Operatoria

Data l'importanza delle sale operatorie sono state predisposte delle UTA dedicate per ognuna di esse, poiché:

- È richiesto che le UTA siano sempre in attività;
- le UTA devono essere regolabili (ad esempio è possibile farle funzionare a portate ridotte ed avere meno ricambi se non ci sono persone nella stanza).

Si riportano nella seguente tabella i dati relativi all'Unità Trattamento Aria 5 (dedicata ad una delle 2 sale operatorie, sigla SO):

Tabella30 – Carichi UTA5

	$Q_{sens,est}$ [kW]	$Q_{lat,est}$ [kW]	T_{imm} [°C]	Area [m ²]	$Q_{sens,inv}$ [kW]
SO ORTO 0.5	4,38	0,65	18,78	45,0	0,32

$TOT_{sens+lat,est}$	5,03
$T_{imm,estiva}$ [°C]	18,8
$T_{imm,invernale}$ [°C]	21,3

La sala operatoria, come evidenziato nel paragrafo precedente, in seguito al vincolo normativo previsto dal DPR 14/01/1997 di 15 ricambi orari di aria esterna, necessita di una portata d'aria esterna pari a 2120 m³/h.

Nella progettazione di una sala operatoria gioca un ruolo fondamentale il controllo dei contaminanti che, rispettando i vincoli normativi imposti, viene gestito con un flusso misto: si è deciso di gestire la zona critica, ovvero direttamente sopra al campo operatorio, attraverso un flusso laminare unidirezionale dell'aria immessa. Per la restante parte della sala operatoria il flusso è turbolento.

Questa tipologia di flusso è garantita nella sala operatoria da un plafone filtrante.

Si è deciso di utilizzare un plafone filtrante a velocità differenziata del marchio Sagicofim di classe ISO 5 con le seguenti caratteristiche:

Dimensioni [mm]			Area [m ²]	Portata [m ³ /h]	Velocità [m/s]
L	W	H			
3200	3200	420	10,2	9500	0,3

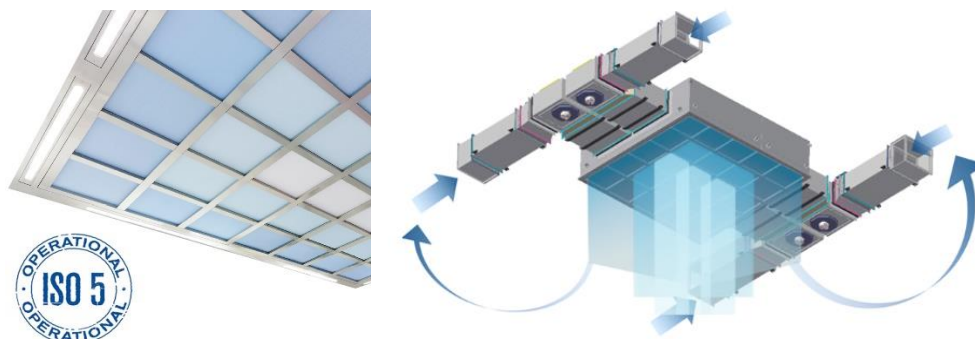


Figura 12 - Plafone filtranteSagicofim a velocità differenziata

Nel caso delle sale operatorie gioca quindi un ruolo vincolante l'aspetto tecnico del plafone filtrante, la cui velocità non può mai essere inferiore a 0,3 m/s nel rispetto della norma UNI 11425. La portata d'aria totale minima immessa nell'ambiente dal plafone filtrante sarà pari a 9500 m³/h e, al netto di una portata d'aria esterna di 2120 m³/h, sarà necessario gestire una portata di ricircolo pari a 7380 m³/h.

La portata di ricircolo dovrà subire gli stessi trattamenti di filtrazione dell'aria esterna. La filtrazione dell'aria immessa dal plafone filtrante con flusso a velocità differenziata è garantita da filtri HEPA testati secondo la normativa UNI EN1822.

Il plafone filtrante è del tipo a 3 velocità differenziate, decrescenti dal centro del plafone, in modo tale da creare un profilo di velocità che, combinato con l'estrazione posta agli angoli della stanza, facilita la rimozione dei contaminanti fino a una concentrazione finale di circa 10 UFC/m³.

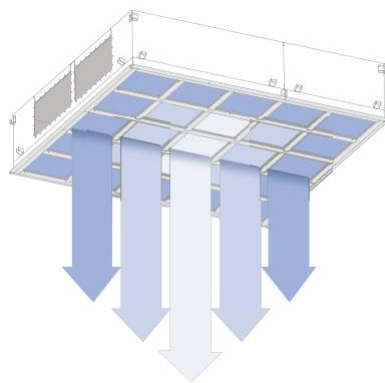


Figura 13 - Profilo di velocità del plafone filtrante

5.8. Mappa dei flussi nel Blocco Operatorio

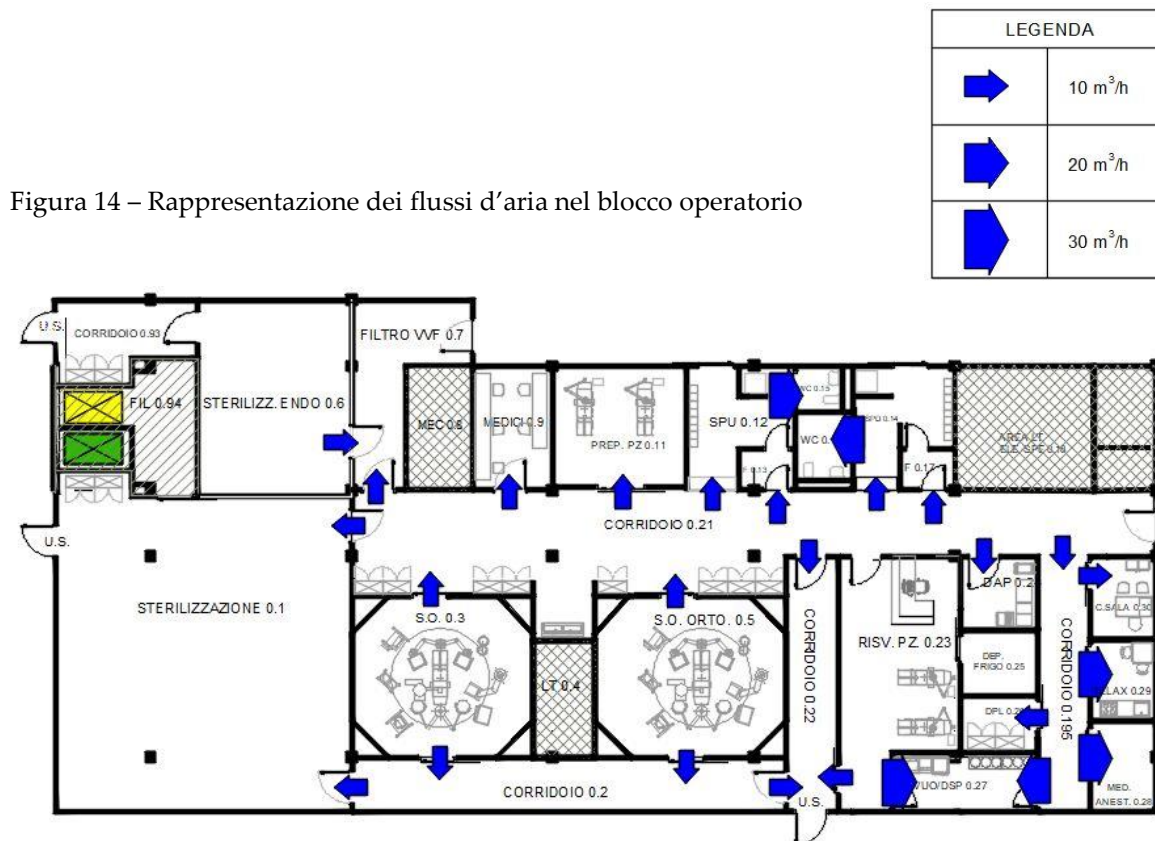
Come anticipato, per promuovere il contenimento e la prevenzione della contaminazione ambientale, nel rispetto delle normative vigenti illustrate, si è deciso di imporre gradienti di pressione, che dovranno essere mantenuti per tutto il periodo di attività dell'impianto. I gradienti di pressione impediscono all'aria potenzialmente contaminata di entrare all'interno dei locali per i quali è necessario garantire le migliori condizioni di sterilità possibili, e di favorirne il controllo e l'espulsione. Questa problematica è di centrale importanza soprattutto per il blocco operatorio: all'interno di esso si è adottato, in accordo con la normativa UNI 11425, un livello di pressione decrescente dalle sale operatorie stesse fino ai locali più lontani da esse, in cui, in alcuni casi, la pressione risulta negativa. Si riporta di seguito la tabella con le pressioni imposte per ogni ambiente nel blocco operatorio:

Tabella 31 – Valori di pressione differenziali utilizzati

Nome	Pressione imposta [Pa]
Sterilizzazione 0.1	5
Corridoio 0.2	10
Sala Operatoria 0.3	15
Sala Operatoria 0.5	15
Filtro 0.7	5
Sala Medici 0.9	5
Preparazione pazienti 0.11	5
Spogliatoio uomini 0.12	5
Filtro 0.13	5
Spogliatoio donne 0.14	5
Bagno 0.15	-10
Bagno 0.16	-10
Filtro 0.17	5
Corridoio 0.21	10
Corridoio 0.22	5
Risveglio pazienti 0.23	10
Deposito apparecchiature 0.24	5
Deposito 0.26	5
Deposito sporco 0.27	-5
Locale anestesia 0.28	-5

Area Relax 0.29	-5
Corridoio 0.195	10

I ΔP imposti variano da -10 Pa fino ad un massimo di +15 Pa, con salti di 5 Pa tra ambienti confinanti. Si riporta di seguito la mappa dei flussi d'aria previsti all'interno del blocco operatorio:



Le portate d'aria sono state calcolate con la seguente formula:

Equazione 3 – calcolo delle portate legate alla pressione differenziale

$$Portata = Area * \sqrt{\frac{2 * \Delta P}{\rho}} * 3600$$

In cui:

- Area = Area di passaggio sottoporta;
- ΔP = Differenza di pressione tra i due ambienti limitrofi;
- ρ = densità dell'aria.

5.9. Conversione di ambulatori e degenze

La recente esperienza pandemica ha evidenziato la necessità da parte delle strutture ospedaliere di avere flessibilità e rapidità di risposta alle esigenze dettate da situazioni di emergenza. Le richieste di posti letto in cui ospitare pazienti infettivi e di locali da adibire a terapie intensive in tempi brevi ed in totale sicurezza, sono bisogni primari da soddisfare in contesti di pandemie come quella da SARS-CoV-2. A seguito di queste considerazioni, si è deciso di rendere possibile la conversione di tutti gli ambienti ambulatoriali e di una porzione delle degenze (indicata in rosso in Figura 7). L'impianto è a tutt'aria senza ricircolo ed il controllo della contaminazione avviene attraverso l'aumento delle portate di estrazione: in caso di necessità, sarà garantita una differenza di pressione negativa rispetto ai locali confinanti ed altri adeguamenti atti a contenere l'agente infettivo (adozione di filtri assoluti in estrazione). Per quanto riguarda la filtrazione dell'aria di espulsione (necessaria per non contaminare l'ambiente esterno), alcuni studi effettuati dai Centers of Disease Control and Prevention ("CDC"), hanno individuato nei filtri assoluti una soluzione efficace per contrastare la diffusione del COVID-19[31]. Nel caso studio, i filtri assoluti saranno posizionati nei canali di estrazione dell'aria degli ambulatori e delle degenze interessate alla conversione. Infine, la scelta di recuperatori di calore a batterie accoppiate (presentata al paragrafo precedente), garantisce l'assenza del fenomeno della cross contamination con l'aria in ingresso.

5.10. Centrale Termica

A valle del dimensionamento delle UTA, è necessario stimare le potenze totali che dovranno essere fornite dalla centrale termica per alimentarle ed effettuare la scelta delle macchine.

Nella tabella seguente sono indicate le potenze richieste dalle batterie di ciascuna UTA e, di seguito, le potenze complessive.

Tabella 32 – Potenze delle UTA

Codice UTA	Batteria di raffreddamento [kW]	Batteria di post-riscaldamento [kW]	Batteria di preriscaldamento [kW]
1	888	218	405
2	680	166	309
3	305	74	138
4 (SO)	43	11	20
5 (SO)	42	10	21
6	205	50	93
7	887	217	404
8	897	221	410
9	535	133	246
10	507	125	232

	Potenza [kW]
Totale Raffreddamento	4989,0
Totale Preriscaldamento	2278,0
Totale Postriscaldamento	1225,0

Dopo aver svolto il dimensionamento di tutte le UTA, sono stati ottenuti i seguenti valori complessivi dei 3 piani climatizzati (già maggiorati cautelativamente del 10%):

Tabella 33 – Potenze totali in centrale

	Potenza Totale (kW)
Raffreddamento	5487,9
Preriscaldamento	2586,9
Postriscaldamento	1347,5

I valori presenti in tabella indicano quindi le potenze che devono essere fornite alle batterie delle UTA per far sì che queste garantiscano le condizioni interne richieste.

Queste potenze saranno fornite dalle macchine presenti nella centrale termica, che, a causa della taglia elevata, presumibilmente non potrà essere collocata in copertura ma dovrà essere posizionata in un'area adiacente all'edificio.

Poiché non sono previsti nelle vicinanze falde e/o corsi d'acqua, si è deciso di optare per delle macchine aria-acqua che utilizzano l'aria come fluido termovettore nel lato opposto dell'effetto utile della macchina per garantire la gestione delle potenze richieste alle batterie delle UTA.

È stato individuato un parco macchine composto da:

- Unità reversibile con sorgente aria, compressori a vite, inverter e ventilatori EC (commutazione elettronica), per installazione esterna (Pompa di calore reversibile);
- 2 Unità polivalenti da esterno, con tecnologia full inverter, per applicazioni su impianti a 4 tubi per la produzione di acqua sia refrigerata che riscaldata su due circuiti idronici indipendenti;
- 2 Chiller con sorgente aria per installazione esterna.

Di seguito sono riportati le rese delle macchine:

Tabella34 - Macchine

Modello macchina	Coeff. di prestazione
Unità reversibile	COP = 3,74 EER = 2,79
Unità polivalente	TER = 7,52
Chiller	EER = 2,82

Si è deciso di optare per delle macchine polivalenti principalmente per la loro capacità di fornire sia caldo che freddo in estate. Inoltre, grazie al modello sviluppato attraverso il software IES VE, si evince che vi sia richiesta di potenza frigorifera anche nelle stagioni intermedie (autunno e primavera) o addirittura in inverno come, ad esempio, nel caso delle sale operatorie.

Grazie all'analisi svolta è possibile sostenere che vi sia una richieste costante di energia durante tutto l'anno che, viene coperta dalla macchina polivalente, sfruttando al meglio il suo TER (Total Efficiency Ratio).

Si riporta di seguito il grafico con gli andamenti mensili delle potenze, con riferimento alle potenze di picco richieste dall'intero edificio:

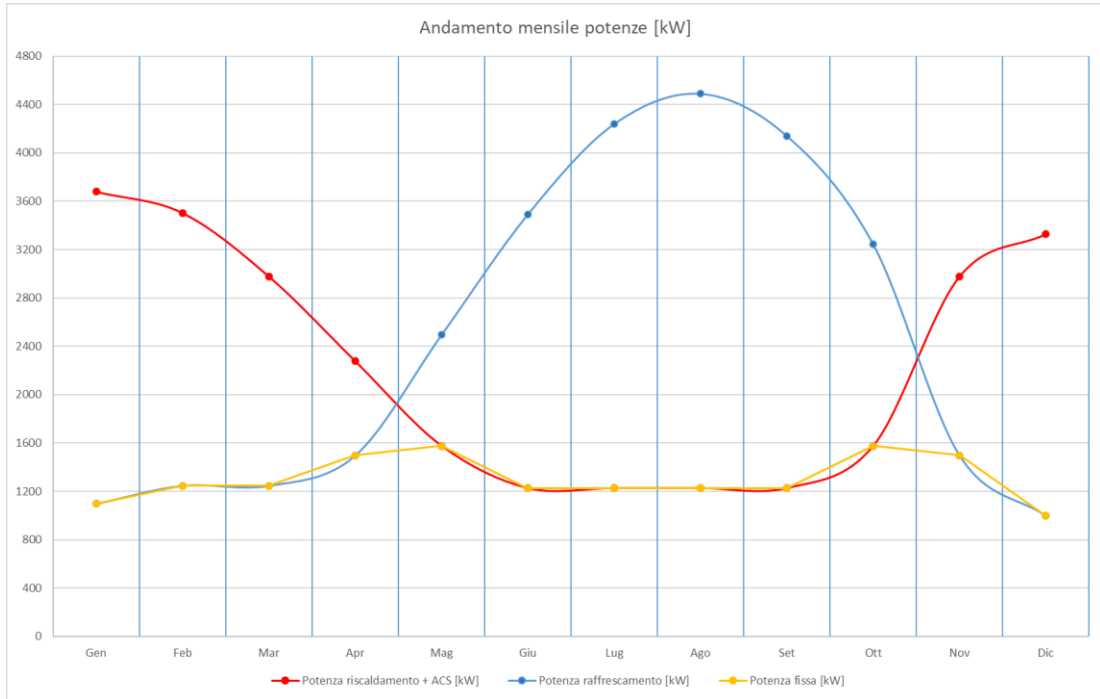


Figura 15 – Andamento per mese della richiesta termica

6 Protocolli di sostenibilità ambientale

Dopo aver eseguito il dimensionamento di massima dell'impianto HVAC nel rispetto delle normative vigenti presentate nel corso dei primi capitoli della presente trattazione, si vogliono analizzare i principali protocolli internazionali volontari di sostenibilità ambientale, per valutare possibili implementazioni o spunti migliorativi inerenti al tema della IAQ rispetto a quanto previsto dalla progettazione italiana. Tale quesito deriva dal crescente interesse da parte del mondo dell'edilizia verso le certificazioni LEED, BREEAM e WELL, che attraverso l'adozione di strategie ben definite, si pongono come obiettivo il raggiungimento di un'edilizia sostenibile, una miglior gestione delle risorse rispetto al passato ed il raggiungimento del massimo comfort possibile per gli occupanti.

6.1. LEED v.4

Il primo protocollo di sostenibilità ambientale analizzato è il protocollo LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), quarta edizione.

È un sistema di certificazione volontario sviluppato dal U.S. Green Building Council (USGBC) e largamente utilizzato in tutto il mondo. Il protocollo si basa sul consenso, è guidato dal mercato e consente di stimare il livello di qualità ambientale di un edificio. Il focus del protocollo è incentrato sul miglioramento dell'efficienza degli edifici sia dal punto di vista dei consumi che dell'uso delle risorse.

Il LEED prevede differenti opzioni di applicazione, tra le quali vi è anche l'ambito ospedaliero, trattato nel modulo apposito denominato LEED Healthcare: pensato appositamente per le strutture ospedaliere e case di cura.

Per poter accedere alla certificazione, è necessario che l'edificio in esame rispetti dei requisiti minimi ("minimum program requirements"), ovvero:

- Deve essere un edificio collocato stabilmente in un contesto ben delineato: questo prerequisito è importante perché uno degli intenti del protocollo è valutare l'edificio all'interno dell'ambiente in cui si trova;
- Deve essere considerato comprensivamente delle eventuali aree o spazi di supporto adiacenti utilizzati dagli occupanti e devono essere compresi i sistemi di raccolta delle acque pluviali o eventuali alterazioni del suolo;

Il credito è strutturato in categorie, ciascuna delle quali presenta a propria volta dei prerequisiti da rispettare e prevede l'assegnazione di un punteggio in funzione delle prestazioni dell'edificio in esame, nell'ambito della tematica trattata.

La somma complessiva dei punteggi parziali porta all'attribuzione all'edificio di uno dei quattro livelli di certificazione possibili previsti dal protocollo LEED:

- Certified (40-49 punti);
- Silver (50-59 punti);
- Gold (60-79 punti);
- Platinum (80-110 punti).

All'interno del protocollo sono trattate tematiche di cruciale importanza per una valutazione di sostenibilità quanto più completa possibile: è valutato il contesto in cui è collocato l'edificio e quanto esso incentivi una mobilità ecologicamente sostenibile (Location and Transportation Credit, "LT"); è affrontata la tematica dell'inquinamento derivante dall'attività di costruzione controllando l'erosione del suolo, la sedimentazione dei corsi d'acqua e la polvere dispersa nell'aria (Sustainable Sites Credit) e di quanto sia efficiente l'utilizzo dell'acqua nel progetto (Water Efficiency Use, "WE").

All'interno del protocollo è ampiamente affrontato anche il tema dell'efficienza energetica dell'edificio (Energy and Atmosphere Credit, "EA"), promosso l'utilizzo di materiali dal minor impatto ambientale possibile ed incentivata una corretta politica di gestione dei rifiuti (all'interno del Material and Resources Credit, "MR"), ed infine affrontata la tematica della qualità degli ambienti interni (Indoor Environmental Quality Credit, "IEQ").

Come già affermato in precedenza, il caso studio verte proprio su quest'ultimo tema, che sarà pertanto approfondito con lo scopo di valutare se il protocollo LEED aggiunga spunti interessanti al miglioramento della qualità dell'aria anche in ambito ospedaliero.

La categoria IEQ, come evidenzia la tabella riportata di seguito, è composta da 2 prerequisiti e 9 crediti e consente di conseguire un punteggio massimo di 16 punti.

Tabella 35 - Scorecard IEQ LEED

Indoor Environmental Quality (IEQ)	Punti
Minimum indoor air quality performance	Prereq.
Environmental tobacco smoke control	Prereq.
Enhanced indoor air quality strategy	2
Low emitting materials	3
Construction indoor air quality management plan	1
Indoor air quality assessment	2
Thermal comfort	1
Interior lighting	1
Daylight	2
Quality views	2
Acoustic performance	2

Come anticipato, il protocollo affronta questo macro-argomento declinandolo in 9 parti, all'interno delle quali si approfondiscono, oltre al comfort termoigrometrico ed alla ventilazione, anche la valutazione acustica ed illuminotecnica.

Si approfondiranno, in maniera quantitativa, i crediti relativi alle metodologie avanzate di miglioramento della qualità dell'aria ("Enhanced indoor air quality strategies"), all'utilizzo di materiali basso emissivi ("Low emitting materials") ed alla valutazione della qualità dell'aria interna ("Indoor air quality assessment").

6.1.1. Prerequisiti

Per poter procedere con la valutazione nel merito della qualità dell'aria interna, il protocollo LEED prevede che siano rispettati alcuni requisiti specifici, indispensabili per l'applicazione del protocollo stesso.

Il primo prerequisito è inerente alla ventilazione e presenta nel caso di ambito ospedaliero (come quello in esame), delle specifiche differenti rispetto all'applicazione per altre destinazioni d'uso dell'edificio.

I prerequisiti sono inoltre differenti anche in base alla tipologia di ventilazione che può essere meccanica o naturale: il caso in esame rientra nella prima tipologia di ventilazione.

Per un edificio dotato di un impianto di ventilazione meccanica, è obbligatorio utilizzare come riferimento per il calcolo delle portate d'aria e la definizione delle condizioni termoigrometriche e di filtrazione la normativa ASHRAE 170-2008, Sezione 7 (precedentemente analizzata al Capitolo 3) e rispettare i requisiti delle FGI Guidelines del 2010 (accorpate nella versione della normativa ASHRAE 170-2017).

Per tutti gli ambienti presenti nell'ospedale ma non trattati nelle suddette normative, si deve fare riferimento alla ASHRAE 62.1-2010 (sezioni 4-7) o un equivalente locale qualora fosse più stringente. È possibile, in alternativa, utilizzare i requisiti minimi stabiliti dalla Annex B del CEN (Comitee Europeen de Normalisation), Standard EN 16798-1 per quanto riguarda i parametri di input per la progettazione e la certificazione delle prestazioni energetiche e di qualità dell'aria. Nello specifico il CEN è un ente normativo che ha lo scopo di produrre norme tecniche europee in collaborazione con enti normativi nazionali e sovranazionali come, ad esempio, l'ISO (International Organization for Standardization).

In aggiunta a ciò, il protocollo inoltre richiede espressamente che debba essere già previsto un monitoraggio delle portate d'aria attraverso l'uso di un trasduttore posizionato in corrispondenza del ventilatore di mandata dell'unità di trattamento aria, in grado di misurare la portata minima di aria esterna; questo dispositivo inoltre potrà registrare valori di portata con una tolleranza di +/-10% rispetto ai valori previsti dai requisiti minimi e deve essere previsto un sistema di avviso che segnali oscillazioni del valore di portata di aria esterna del 15% rispetto al valore di setpoint.

Un altro prerequisito richiesto dal protocollo è l'applicazione del divieto di fumo sia all'interno che all'esterno dell'edificio. È consentito infatti fumare solo all'esterno oltre 7,5 metri dalle aperture dell'edificio e/o nelle apposite aree fumatori (qualora fossero presenti). Il divieto di fumo deve essere applicato sia in fase di costruzione che in fase di occupazione.

6.1.2. IEQ-c1: Strategia avanzate per la qualità dell'aria interna

Per migliorare la qualità dell'aria interna, promuovere il comfort, il benessere e la produttività degli occupanti e perseguire l'assegnazione di 1 punto per questo credito, il LEED richiede il rispetto dei requisiti sottostanti (validi in caso di edifici dotati di ventilazione meccanica):

- Sistemi di ingresso;
- Prevenzione della cross contamination;
- Sistemi di filtrazione.

6.1.2.1. Sistemi di ingresso

Questa sezione del protocollo richiede di installare zerbini aventi una lunghezza di almeno 3 metri nel principale senso di percorrenza per catturare lo sporco ed il particolato che entra nell'edificio attraverso le porte normalmente utilizzate.

Un sistema di ingresso, affinché sia idoneo a questo scopo, può anche avere griglie permanenti, grate e slot rimovibili che permettano la pulizia. La manutenzione deve essere settimanale.

Solitamente sono impiegati nelle bussole d'ingresso, previste nelle Mandatory Provisions della normativa ASHRAE 90.1. Per il caso specifico degli ospedali, devono essere previste delle bussole pressurizzate negli ingressi caratterizzati da grandi volumi.

6.1.2.2. Prevenzione della cross contamination

Il tema della cross contamination è un tema di grande importanza per l'ambito ospedaliero, poiché all'interno della struttura, con ancora maggiore attenzione rispetto ad altre applicazioni, deve essere garantita la massima salubrità dell'aria.

A tale proposito, per evitare questo fenomeno, il protocollo prevede per i locali potenzialmente inquinanti (es: depositi, locale copy, garage e altri ambienti in cui potrebbero essere presenti gas pericolosi o sostanze chimiche) i seguenti requisiti:

- Estrazione di almeno $2,5 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$;
- Porte con chiusura automatica;
- Partizioni "deck to deck" o controsoffitti a tenuta "hard-lid ceiling" per evitare la diffusione di contaminanti.

6.1.2.3. Filtrazione

Tutti i sistemi di ventilazione meccanica che immettono aria esterna in ambienti occupati da persone devono essere dotati di sistemi di filtrazione per il particolato o altri dispositivi di pulizia in grado di soddisfare uno dei seguenti requisiti:

- MERV 13 o superiori, in accordo con ASHRAE Standard 52.2-2007;

-
- Classe F7 superiore, come definito dallo Standard CEN EN 779-2002, “Filtri del particolato per ventilazione generale”.

É obbligatorio sostituire tutti i filtri dopo il completamento della costruzione e prima dell’occupazione.

6.1.3. IEQ-c1: Strategia avanzate aggiuntive per la qualità dell’aria interna

Qualora siano rispettati i requisiti precedentemente elencati, sarebbe possibile ottenere un credito extra seguendo una delle strategie addizionali seguenti:

- Prevenzione della contaminazione esterna;
- Aumento delle portate di ventilazione;
- Monitoraggio e controllo della CO₂;
- Monitoraggio e controllo di possibili sorgenti inquinanti aggiuntive.

6.1.3.1. Limitazione dell’ingresso dei contaminanti esterni

Una possibile problematica per gli edifici dotati di impianto di ventilazione meccanica è costituita dall’ingresso all’interno dell’edificio di contaminanti provenienti dall’ambiente esterno. Si richiede, pertanto, di progettare l’edificio in modo da minimizzare questo rischio. Per perseguire questo obiettivo, il protocollo richiede di verificare attraverso i risultati di simulazioni fluidodinamiche, simulazioni in galleria del vento o attraverso analisi effettuate con gas traccianti, che la concentrazione di inquinanti alla presa d’aria esterna sia inferiore ai valori riportati nel National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)[32]. Si riportano di seguito i valori medi sulle 24 ore indicati dalla normativa:

Tabella 36 – Concentrazione massima di contaminanti secondo i NAAQS

Contaminante	Concentrazione [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
SO ₂	30
NO ₂	30
Particolato sospeso	100
Particolato < 10 μm	75
Piombo	0,75

NH3	40
CO	200

6.1.3.2. L'Aumento delle portate di ventilazione

Una possibile strategia per il miglioramento della qualità dell'aria negli ambienti indoor potrebbe in alternativa essere rappresentata dalla diluizione dei contaminanti presenti all'interno dell'edificio con maggiori portate di aria esterna.

Se si intende intraprendere questa scelta progettuale, il protocollo richiede di aumentare i ricambi di tutti gli spazi occupati di almeno il 30% rispetto ai minimi previsti dai prerequisiti.

6.1.3.3. Il controllo della CO₂

Un'altra possibile strategia per il miglioramento della qualità dell'aria è rappresentata dal controllo della concentrazione di CO₂ all'interno di tutti gli spazi densamente occupati. Elevati valori di CO₂ possono compromettere la salubrità dell'aria e rendere gli ambienti non confortevoli per l'occupazione umana, a maggior ragione in un contesto ospedaliero come quello in esame.

Per perseguire questo obiettivo, il protocollo richiede l'adozione di monitor per la misurazione della CO₂, da posizionarsi tra 0,9 e 1,8 metri dal livello del pavimento. Essi dovranno essere dotati di un allarme visivo o sonoro che si inneschi automaticamente qualora si superino del 10% i livelli limite di CO₂ previsti dalla ASHRAE 62.1-2010, Appendice C.

A seconda del livello di attività, il valore di CO₂ prodotta varia sensibilmente: ad un tasso pari a 1,2 met la generazione di CO₂ è di 0,31 l/min per persona. Studi di laboratorio (citati dalla normativa) hanno evidenziato che sono sufficienti 7,5 l/s per persona di aria esterna per la diluizione di questo contaminante, per soddisfare l'80% delle persone provenienti da un altro ambiente (e quindi non ancora "abitate" alla concentrazione interna).

6.1.3.4. Controllo di altre sorgenti inquinanti

È possibile che vi siano spazi in cui sia ragionevole attendersi altri contaminanti oltre alla CO₂, a causa dell'attività che viene svolta al loro interno (laboratori, reparti produttivi, lavanderie), o allo stoccaggio in loco di materiali in grado di rilasciarne (depositi delle pulizie, depositi di sostanze chimiche).

Il protocollo richiede di prevedere pertanto per tali spazi un piano di movimentazione o stoccaggio dei materiali che limiti il rilascio dei contaminanti e che si installi un dispositivo in grado di rilevarli, dotato di allarme in grado di innescarsi qualora si verificano condizioni impreviste o insicure per la salute umana.

6.1.4. IEQ-c2: Materiali basso emissivi

Un tema rilevante per la valutazione della qualità dell'aria degli ambienti indoor è il controllo e la riduzione dei componenti organici volatili presenti nell'aria (in inglese "Organic Volatile Compounds", abbreviato in VOCs) derivanti dai materiali da costruzione e dalla presenza di arredamento, macchinari e occupanti all'interno dell'edificio.

Il protocollo LEED prevede un credito apposito per incentivare l'utilizzo di materiali basso emissivi, che comporta l'assegnazione di un punteggio fino ad un massimo di 3 punti.

I materiali sono suddivisi in 7 categorie e per ciascuna di esse è richiesta una soglia di idoneità (in termini di emissione o contenuto di VOCs), secondo differenti requisiti presentati nella tabella sottostante.

Per il caso specifico degli ospedali (come quello in esame) e delle scuole, è importante evidenziare che rientrano nei materiali oggetto di questo credito anche i prodotti applicati esternamente all'edificio, ovvero al di fuori della superficie che garantisce l'impermeabilità all'acqua nello stesso.

Tabella 37 – Limiti emissioni materiali LEED

Categorie	Soglie	Requisiti su emissioni e contenuto
Vernici per interni e rivestimenti (applicati sul posto)	Emissioni VOCs: almeno 90% (in volume) Contenuto VOCs: 100% (in volume)	Valutazione Generale delle Emissioni per vernici e rivestimenti applicati a pavimenti e soffitti. Requisiti sul contenuto di VOCs per prodotti applicati a umido
Adesivi per interni e sigillanti (applicati in sito) ⁶	Emissioni VOCs: almeno 90% (in volume) Contenuto VOCs: 100% (in volume)	Valutazione Generale delle Emissioni. Requisiti sul contenuto di VOCs per prodotti applicati a umido
Pavimenti	100%	Valutazione Generale delle Emissioni
Legno composito	100%	Valutazione dei materiali compositi in legno
Soffitti, muri, isolamento termico e acustico	100%	Valutazione generale delle Emissioni
Arredamento	Almeno il 90% (base costo)	Valutazione dell'arredamento
Prodotti applicati esteriormente (specifico per ospedali e scuole)	Almeno il 90% (in volume)	Requisiti su prodotti applicati esteriormente

A seguito della valutazione del numero di categorie ritenute idonee a quanto richiesto dal protocollo, segue l'attribuzione di un punteggio. Per il caso delle strutture ospedaliere, essa avviene secondo le indicazioni riportate nella tabella sottostante:

Tabella 38 – Punteggio per le emissioni dei materiali

Categorie di materiali idonee	Punti
4	1
6	2
7	3

Per risultare idoneo per le emissioni ed il contenuto, un materiale deve essere valutato secondo una valutazione generale delle emissioni secondo quanto riportato nello Standard Method v1.1-2010 del California Department of Public Health[33], Per i progetti europei è possibile riferirsi in alternativa alla direttiva

⁶ In questa categoria sono inclusi anche i sigillanti per pavimenti

tedesca AgBB Testing and Evaluation Scheme (2010)[34], al DIB Testing Method (2010)[35] oppure alle normative ISO 16000-3[36], ISO 16000-6[37] o ISO 16000-9[38].

Da tali valutazioni possono essere ritenuti esenti i materiali intrinsecamente non emissivi (pietra, ceramica, metalli anodizzati o placcati, vetro, cemento, mattoni e legno non trattato).

Le dichiarazioni di conformità dei materiali devono riportare il valore delle emissioni di composti volatili dopo 28 giorni.

Infine, per i materiali compositi di legno, è necessario dimostrare che rispettino le specifiche indicate dal California Air Resources Board[39].

Come anticipato in precedenza, per quanto riguarda le strutture ospedaliere, è previsto un requisito aggiuntivo: i prodotti applicati esternamente quali adesivi, sigillanti, rivestimenti, materiali impermeabilizzanti, devono rispettare i limiti di VOC previsti dal CARB "Suggested Control Measure" del 2007 oppure, per progetti europei, la direttiva Decopaint Directive 20041/42/EC[40] e ISO 11890 Part 1-2[41].

6.1.5. IEQ-c3: Piano di gestione della costruzione e della Qualità dell'aria interna

Il protocollo LEED prevede un credito relativo alla redazione di un piano per la qualità dell'aria interna per la fase antecedente all'occupazione dell'edificio e quella successiva. La finalità di questo credito è quella di minimizzare i problemi relativi al peggioramento della qualità dell'aria interna nelle fasi di costruzione o ristrutturazione, garantendo condizioni di salubrità e comfort alle maestranze di cantiere ed agli occupanti. Per edifici di tipo ospedaliero, il protocollo richiede:

- Un piano per il controllo e la prevenzione dei danni da umidità: si deve effettuare un corretto stoccaggio di materiali porosi in cantiere, sostituire i componenti che possono visivamente risultare danneggiati, si devono adottare strategie mirate ad impedire infiltrazioni d'acqua o umidità all'interno dell'edificio;
- Un piano di controllo per il particolato: è vietato l'avviamento dell'impianto di ventilazione durante la fase di costruzione senza aver previsto una filtrazione di classe pari o superiore a MERV-8, si deve inoltre prevedere la sostituzione dei filtri prima dell'occupazione;
- Un piano di limitazione dell'esposizione ai VOCs: è opportuno effettuare le operazioni di verniciatura e sigillatura prima di posizionare o installare materiali che potrebbero assorbire componenti volatili; è bene inoltre stoccare carburanti, solventi ed altre sorgenti di VOCs separatamente agli altri materiali;
- Un piano che impedisca l'ingresso di emissioni derivanti da lavorazioni effettuate all'esterno (asfaltature, rifacimento copertura...);
- Un piano di divieto di fumo all'interno dell'edificio ed a meno di 7,5m dalle aperture;
- Un piano di riduzione del rumore e delle vibrazioni in cantiere, imponendo l'obbligo di indossare dispositivi di protezione per l'udito ai lavoratori esposti per tempi prolungati a rumori superiori a 85dB;
- Un piano di sicurezza per evitare possibili infezioni o contaminazioni da parte del personale di lavoro nel corso di interventi svolti in strutture ospitanti pazienti infettivi (Il protocollo indica di seguire le FGI Guidelines for Design and Construction of Healthcare Facilities) e la produzione di attestati di rischio elaborati secondo i criteri previsti dalla normativa ASHE Infection Control Risk Assessment[42].

6.1.6. IEQ-c4: Certificazione della qualità dell'aria interna

È possibile ottenere un punto per il credito inerente alla certificazione della qualità dell'aria interna effettuando un flussaggio ("flush out") dell'edificio, ovvero facendovi circolare forzatamente dell'aria esterna al fine di ridurre il più possibile la presenza di VOCs prima che l'edificio sia definitivamente disponibile agli occupanti.

Al fine di eseguire correttamente l'operazione di flussaggio, è necessaria la circolazione di almeno 4267140 l/m² di aria esterna, mantenendo una temperatura interna di almeno 15°C (non oltre i 27°C) ed una umidità relativa inferiore al 60%. È possibile eseguire questa operazione anche durante l'occupazione, facendo circolare almeno 4267200 l/m² di aria esterna. Tale procedura deve avere inizio, nei giorni del flussaggio, a partire da 3 ore prima dell'occupazione. È possibile rendere disponibile l'edificio agli occupanti prima di ultimare il flussaggio, a patto che siano stati fatti circolare almeno 1066260 l/m² di aria esterna nel corso dell'operazione.

Si possono conseguire 2 punti se si compie una analisi chimica nel periodo successivo alla costruzione ma antecedente all'occupazione, dimostrando il soddisfacimento dei requisiti previsti all'interno delle normative ISO 16000-3, ISO 16000-6.

I laboratori che effettuano analisi per formaldeide e VOCs devono essere accreditati ISO/IEC 17025[43].

6.2. BREEAM New Construction 2016

Il secondo protocollo analizzato è il BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), il più longevo sistema volontario di valutazione della sostenibilità degli edifici al mondo, istituito nel Regno Unito per valutare le prestazioni ambientali degli edifici.

In questa tesi si andranno ad analizzare i requisiti inerenti all'ottenimento dei punti su ventilazione e qualità dell'aria interna.

Il sistema di certificazione ambientale BREEAM è un protocollo garantito da valutatori indipendenti autorizzati e certificati che utilizzano indici di sostenibilità scientificamente provati che coprono svariate questioni ambientali, le quali possono essere raggruppate in 5 aspetti fondamentali: Governance, Social and economic wellbeing, Resource and energy, Land use and ecology, Transport and movement.

Gli edifici sono classificati e certificati su una scala così definita:

- Pass, punteggio maggiore o uguale al 30% del punteggio totale;
- Good, punteggio maggiore o uguale al 45% del punteggio totale;
- Very good, punteggio maggiore o uguale al 55% del punteggio totale;
- Excellent, punteggio maggiore o uguale al 70% del punteggio totale;
- Outstanding, punteggio maggiore o uguale al 85% del punteggio totale.

L'obiettivo che si pone è quello di sensibilizzare i clienti sui vantaggi di un approccio sostenibile, fornendo sul mercato il riconoscimento dei risultati ottenuti ma soprattutto ridurre gli effetti negativi dello sviluppo edilizio sull'ambiente.

Lo standard BREEAM può essere applicato a qualsiasi edificio e luogo, nuovo o esistente. Nello specifico di questo caso studio ci concentreremo su lo standard BREEAM New Construction (NC), che pone la sua attenzione sull'intero ciclo di vita di un edificio di nuova costruzione dalla pianificazione all'uso finale.

Le 5 categorie sono redistribuite poi in sottosezioni, così definite per il BREEAM NC Scheme nel caso fully fitted out (edificio costruito nella sua completezza, completo di arredi):

- Management, che pesa il 12% sul punteggio totale;
- Health and Wellbeing, che pesa il 15% sul punteggio totale;
- Energy, che pesa il 15% sul punteggio totale;

-
- Transport, che pesa il 9% sul punteggio totale;
 - Water, che pesa il 7% sul punteggio totale;
 - Materials, che pesa il 13.5% sul punteggio totale;
 - Waste, che pesa l'8.5% sul punteggio totale;
 - Land Use and Ecology, che pesa il 10% sul punteggio totale;
 - Pollution, che pesa il 10% sul punteggio totale.

A ciascuno di questi aspetti vengono assegnati un numero di crediti.

In aggiunta a queste categoria esiste un'ulteriore categoria chiamata "Innovazione" che fornisce un riconoscimento aggiuntivo (10% addizionale sul totale) per aspetti innovativi nel campo delle prestazioni sostenibili.

Nel caso studio sarà approfondita una parte della sottosezione "Health and Wellbeing" che promuove l'aumento del comfort, della salute e della sicurezza degli occupanti nell'edificio, mirando a migliorare la qualità della vita interna garantendo un ambiente più sano.

Nello specifico sarà analizzata la parte sulla Indoor Air Quality, la quale pesa per il 23% della sottosezione Health and Wellbeing.

6.2.1. Hea 02 - Indoor Air Quality

L'obiettivo di questa parte del protocollo BREEAM è di riconoscere e favorire un ambiente interno sano attraverso delle specifiche indicazioni riguardanti la ventilazione, attrezzature e finiture.

Il criterio di valutazione riguardante la ventilazione è suddiviso in quattro parti:

- Assenza di amianto (prerequisito);
- Minimizzare le fonti di inquinanti dell'aria (4 crediti);
- Adattabilità per la ventilazione naturale (1 credito).

6.2.1.1. Qualità dell'aria interna (1 credito)

Nel protocollo è stato creato e implementato un piano specifico per la qualità dell'aria interna (IAQ) con l'obiettivo di facilitare un processo progettuale e decisionale che minimizzi l'inquinamento dell'aria. Nel caso studio verranno affrontate solo le parti relative alla ventilazione meccanica e, per questo motivo, non verrà analizzato il credito relativo alla potenzialità della ventilazione naturale.

Il piano per la qualità dell'aria interna deve considerare i seguenti aspetti:

- Rimozione delle sorgenti contaminanti;
- Diluizione e controllo delle sorgenti contaminanti (dove presenti, si tiene conto dei requisiti di qualità dell'aria di aree specialistiche come ad esempio i laboratori);
- Procedure di pre-occupazione (flush out);
- Test e analisi di terze parti;
- Mantenere una buona qualità dell'aria interna durante l'uso.

6.2.1.2. Ventilazione (1 credito)

L'edificio deve essere progettato per ridurre al minimo la concentrazione interna e il ricircolo degli inquinanti nell'edificio come segue:

- Aver raggiunto i requisiti richiesti del paragrafo precedente sull'IAQ;
- Fornire aria fresca nell'edificio attraverso i ricambi d'aria secondo le best practices nazionali;
- Le prese d'aria devono essere ad almeno 10 metri dagli scarichi dell'edificio oltre a dover essere ad almeno 10 m da fonti di inquinamento esterno. Scarichi o altre fonti inquinanti non devono essere scaricati in spazi chiusi, come cortili, in cui si trovano anche prese d'aria;
- I sistemi HVAC devono incorporare un'adeguata filtrazione per limitare i contaminanti provenienti dall'esterno, come definito in EN 13779:2007 Annex A3;
- Le aree dell'edificio soggette a densità di occupazione alte e variabili devono essere dotate di sensori di anidride carbonica (CO₂) o di qualità dell'aria specificati;
- Siano presenti divieti di fumo.

6.2.1.3. Emissioni da prodotti da costruzione (1 credito)

Per ottenere il credito disponibile oltre ad aver soddisfatto il criterio sulla qualità dell'aria interna devono essere rispettati i criteri sulle concentrazioni di VOCs (Volatile Organic Compound).

L'ambito delle emissioni di credito VOCs non si estende agli arredi ma si concentra sulle principali finiture interne e accessori parte integrante dell'edificio.

Devono essere valutati solo i prodotti installati o applicati in parti dell'edificio in cui è probabile che le loro emissioni influiscano sulla qualità dell'aria interna. Ai fini di questo criterio si intende qualsiasi prodotto installato o applicato:

- Superficie interna della muratura dell'edificio;
- All'interno della membrana al vapore o impermeabile;
- All'interno della superficie interna dello strato termoisolante di rivestimento interno dell'involucro edilizio, ove presente;

I prodotti intrinsecamente non emissivi di VOCs non necessitano di essere valutati e possono essere ritenuti pienamente conformi ai criteri. Alcuni esempi possono essere:

- Mattoni;
- Pietra naturale;
- Calcestruzzo;
- Piastrelle di ceramica;
- Vetro;
- Superfici metalliche.

Questo a meno che non vengano utilizzati rivestimenti, leganti o sigillanti a base organica nella loro produzione o finitura. Quando si valutano le vernici utilizzate in aree umide, è necessario fornire prove per dimostrare che le vernici proteggono dalla crescita di muffe. Le prove potrebbero includere risultati di test appropriati (ad es. test di resistenza ai funghi o alle alghe) o del produttore.

Per ottenere il credito disponibile bisogna quindi essere rispettati i criteri di concentrazione sulle vernici e pitture ed almeno quattro delle cinque categorie rimanenti riportate nella tabella tratta dal capitolo HEA 02 – Indoor Air quality del BREEAM UK riportata di seguito.

Tabella 39 – Limiti contaminanti BREEAM

Product type	Emissionlimit* Formaldehyde	Total volatile organic compounds (TVOC)	Category 1A and 1B carcinogens	Testing requirement	Additionalrequirements
Interiorpaints and coatings	$\leq 0.06 \text{ mg/m}^3$	≤ 1.0 mg/m^3	≤ 0.001 mg/m^3	EN 16402 or ISO 16000-9 or CEN/TS 16516 or CDPH Standard Method v1.1 21	Meet TVOC content limits (Table 19 on page 93). Paints used in wet areas (e.g. bathrooms, kitchens, utility rooms) should protect against mould growth
Wood-based products	$\leq 0.06 \text{ mg/m}^3$ (Non-MDF) $\leq 0.08 \text{ mg/m}^3$ (MDF)	≤ 1.0 mg/m^3	≤ 0.001 mg/m^3	ISO 16000- 22 or CEN/TS 16516 or CDPH Standard Method v1.1 or EN 717-1 (formaldehyde emissions only) 25	N/A
Flooring materials (including floor levelling compounds and resin flooring)	$\leq 0.06 \text{ mg/m}^3$	≤ 1.0 mg/m^3	≤ 0.001 mg/m^3	ISO 10580 or ISO 16000-9 or CEN/TS 16516 or CDPH Standard Method v1.1	N/A

Tutti gli standard presenti in questa tabella sono riconosciuti in tutta Europa e validi per la misurazione di contenuti di VOCs.

Laddove un prodotto non è valutato rispetto agli standard europei o internazionali indicati, può essere utilizzato uno standard nazionale, a condizione che siano soddisfatte almeno le seguenti condizioni:

- I requisiti di livello di prestazione richiesti dalla norma alternativa sono equivalenti o migliori di quelli specificati nelle norme della tabella
- Nel caso in cui lo standard alternativo non presenti la valutazione di quel determinato materiale e nei prodotti utilizzati di quel materiale non vi sia quella specifica sostanza

6.2.1.4. Misurazione di emissioni dei VOCs post-costruzione (1 credito)

In questo capitolo si riportano i livelli soglia di VOCs che devono essere misurati nell'ambiente dopo la conclusione della costruzione dell'edificio ma prima dell'occupazione di quest'ultimo.

- Il livello di formaldeide deve essere inferiore o uguale a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ misurato in lasso temporale di 30 minuti (linee guida dell'OMS per la qualità dell'aria interna);
- Il livello di concentrazione di composti organici volatili totali (TVOC) viene misurato dopo la costruzione (ma prima dell'occupazione) deve essere inferiore a $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in 8 ore;
- Laddove i livelli di VOC e formaldeide superano i limiti definiti nei due precedenti criteri, il team di progetto conferma le misure che hanno, o saranno adottate, in conformità con il piano IAQ, per ridurre i livelli entro questi limiti.

Da queste informazioni, sarà possibile confrontare successivamente i requisiti richiesti dal protocollo BREEAM UK 2016 con la procedura che sarà seguita nella progettazione del caso studio analizzato.

6.3. WELL v.2

Il terzo protocollo analizzato è il WELL v.2, protocollo su base volontaria di classificazione e certificazione degli edifici relativamente al comfort, alla salute e al benessere delle persone.

La certificazione è gestita dall'International WELL Building Institute (IWBI) ed è rilasciata dal Green Business Certification Inc. ovvero dallo stesso istituto che rilascia la certificazione LEED.

Il focus del protocollo è incentrato sul miglioramento del benessere degli occupanti, unito ad un miglioramento dell'efficienza degli edifici sia dal punto di vista dei consumi che dell'uso delle risorse. Il protocollo è strutturato in 10 tematiche ("concepts"), alcune delle quali affrontate anche all'interno dei protocolli precedentemente presentati (aria, acqua, illuminazione, comfort termico, comfort acustico, scelta e gestione dei materiali). I rimanenti concepts rivelano invece una natura maggiormente orientata alla persona ed alla tutela della salute degli occupanti, e riguardano la nutrizione (concept "nourishment"), il movimento ("movement"), il raggiungimento di un ambiente psicologicamente accogliente ("mind"), la realizzazione di un ambiente coeso ed inclusivo ("community"). Vi è poi un concept aggiuntivo relativo all'innovazione ("innovation"), valevole fino a 10 punti ed assegnato, a seguito di una valutazione da parte dell'Ente, a edifici che hanno perseguito strategie non ancora trattate all'interno del protocollo.

Il protocollo compie una distinzione tra edifici occupati dalla proprietà (per il quale bisogna seguire i criteri di punteggio indicati nella WELL Certification) ed edifici occupati da terzi (per i quali si devono seguire i criteri di punteggio indicati nel WELL Core).

Il punteggio massimo conseguibile, prendendo in considerazione tutti i concepts indicati, ammonta a 110 punti ed il protocollo prevede l'assegnazione di tre livelli di certificazione a seconda del punteggio conseguito:

- Silver (50-59 punti);
- Gold (60-79 punti);
- Platinum (superiore ad 80 punti).

Ciascun concept presenta al proprio interno una divisione in prerequisiti (ovvero "preconditions" che non comportano l'assegnazione di un punteggio) e requisiti

aggiuntivi (denominati “optimizations”), il rispetto dei quali porta alla formazione del punteggio del concept.

Nel presente studio, analogamente a quanto visto nei precedenti capitoli per i protocolli internazionali LEED e BREEAM, si intende focalizzare l’interesse sul tema della qualità dell’aria interna; pertanto, si approfondirà il concept relativo a quest’ultima.

Il concept relativo alla qualità dell’aria è il primo affrontato all’interno del Protocollo WELL ed è composto da 14 richieste, delle quali 4 sono preconditions e 10 optimizations.

6.3.1. Prerequisiti

Come anticipato al paragrafo precedente, per accedere al concept relativo all’aria, è necessario soddisfare 4 prerequisiti relativi alla qualità dell’aria interna, al divieto di fumo, alla ventilazione ed al controllo degli inquinanti derivanti dal processo di costruzione.

6.3.1.1. A01- Qualità dell’aria

Questo prerequisito indica il rispetto negli ambienti indoor, di precise soglie per il particolato, per i gas organici ed inorganici e per il radon.

Per il particolato, si richiede, nello specifico:

- $PM_{2,5}$ inferiore a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- PM_{10} inferiore a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Per i gas organici è richiesto il rispetto invece delle seguenti concentrazioni:

- Benzene: $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- Formaldeide $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- Toluene $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

In alternativa, può essere previsto un monitoraggio dei VOCs totali (almeno su base oraria), con sensori installati con una densità di uno ogni 3500ft^2 (325m^2), al fine di creare un registro che dimostri che per almeno il 90% del tempo su base mensile dei VOCs nei locali occupati sia inferiore a $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Per i gas inorganici ed il radon è richiesto il rispetto delle seguenti soglie:

- Monossido di carbonio: $10\text{mg}/\text{m}^3$;
- Ozono: $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- Radon $0,15 \text{Bq}/\text{l}$.

La misurazione dei parametri dell'aria deve avvenire annualmente e il risultato dei test deve essere comunicato sulla piattaforma digitale del WELL.

6.3.1.2. A02- Divieto di fumo

Il Protocollo richiede che sia vietato fumare sigarette o sigarette elettroniche all'interno dell'edificio e a meno di 25 ft (7,5 m) dalle aperture, finestre o prese d'aria esterna. Deve essere previsto il posizionamento della segnaletica di divieto di fumo.

6.3.1.3. A03 –Efficacia di ventilazione

Per edifici dotati di ventilazione meccanica, il protocollo richiede la progettazione degli impianti nel rispetto dello standard ASHRAE 62.1-2010 o versioni più recenti, ASHRAE 62.2-2016, o UNI EN16798-1. Se l'impianto è pre-esistente, esso deve essere testato e bilanciato per soddisfare tali standard.

6.3.1.4. A04- Gestione dei contaminanti da costruzione

Il presente prerequisito affronta la tematica derivante dall'inquinamento prodotto dalla fase costruttiva.

Per prevenire tale problematica, è importante che i condotti di aerazione siano sigillati e protetti da possibili contaminazioni durante la costruzione e puliti prima del montaggio. Nel caso in cui si avvii un sistema di ventilazione meccanica durante la costruzione, esso deve essere dotato di filtri di efficienza almeno MERV-8, che dovranno essere sostituiti prima dell'occupazione dell'edificio.

I materiali assorbenti devono essere stoccati in un'area separata e al riparo da umidità e deve essere inoltre previsto l'impiego di tappeti per catturare il particolato.

6.3.2. Ottimizzazioni

A seguito del rispetto dei prerequisiti, il protocollo WELL indica 10 optimizations possibili per il presente Concept, ovvero proposte di strategie e metodi per perseguire il miglioramento della qualità dell'aria negli ambienti indoor. Esse portano al raggiungimento di un massimo punteggio di 18 punti.

6.3.2.1. A05 –Qualità dell’aria avanzata

Una possibile strategia da seguire riguarda l’aumento della qualità dell’aria, nel rispetto di requisiti maggiormente stringenti rispetto a quanto richiesto dai prerequisiti in termini di concentrazione di inquinanti.

Per il particolato, si richiede:

- PM_{2.5} inferiore a 12 µg/m³ e PM₁₀ inferiore a 30 µg/m³, per il conseguimento di 1 punto;
- PM_{2.5} inferiore a 10 µg/m³ e PM₁₀ inferiore a 20 µg/m³, per il conseguimento di 2 punti.

Per quanto riguarda i gas organici, è richiesto il rispetto dei valori soglia indicati nella tabella sottostante (1 punto):

Tabella40 – Limiticoncentrazioni WELL

Contaminante	Concentrazione soglia [µg/m ³]
Acetaldeide	140
Acrilonitrile	5
Benzene	3
Formaldeide	9
Toluene	300

Per i gas inorganici, invece, è possibile ottenere 1 punto se:

- CO inferiore a 7mg/m³;
- NO inferiore a 40 µg/ m³.

6.3.2.2. A06 – Ventilazione avanzata

È possibile, per gli edifici dotati di ventilazione meccanica, ottenere un punteggio relativo a questa optimization se si segue una delle due strade proposte:

- Opzione 1: si aumentano i ricambi orari del 30% rispetto a quanto previsto da ASHRAE Standard 62.1 (1 punto) oppure del 60% (2 punti);
- Opzione 2: si installano sistemi di ventilazione meccanica controllata (in inglese Demand Controlled Ventilation la cui sigla è DCV”) che garantiscano il rispetto delle seguenti soglie di CO₂ negli ambienti indoor:

Tabella41 – LimitiCO₂ WELL

Soglia [ppm]		Soglia [ppm]	Punti
900	oppure	500ppm oltre la concentrazione esterna	1
750	oppure	350ppm oltre la concentrazione esterna	2

È possibile l'attribuzione di 1 punto se si prevede una distribuzione dell'aria del tipo "displacement ventilation", secondo quanto richiesto da ASHRAE Standard 62.1 nella sezione dedicata.

6.3.2.3. A07 – Finestre apribili

È possibile conseguire 1 punto se si prevede che il 75% degli spazi abbia finestre apribili.

Si consegue inoltre 1 punto se sono presenti sensori che indicano quando le condizioni esterne rendono idonea l'apertura delle finestre, ovvero una concentrazione di PM_{2.5} inferiore a 15µg/m³, una temperatura che si discosta di meno di 9°C dal setpoint interno e una umidità relativa inferiore al 65%.

6.3.2.4. A08 - Monitoraggio della qualità dell'aria

Si consegue 1 punto se si installano sensori che misurano PM_{2.5}, CO₂, CO, ozono, NO, VOCs totali e formaldeide con una densità di campionamento di almeno uno ogni 3500 ft² (354m²), che riportano su base annuale i dati alla piattaforma digitale del WELL. I monitor dei dispositivi devono riportare i dati in maniera chiara e usufruibile da tutti.

6.3.2.5. A09 - Controllo delle infiltrazioni dei contaminanti

È possibile ottenere 1 punto se si prevede l'adozione di sistemi di ingresso lunghi almeno 3 metri nella direzione principale di percorrenza, coordinato all'impiego di bussole pressurizzate. I sistemi di ingresso devono essere lavati su base settimanale ed aspirati giornalmente.

Eventuali studi su infiltrazioni o esfiltrazioni dall'involucro compiuti in fase progettuale possono condurre all'ottenimento di 1 punto.

6.3.2.6. A10 - Minimizzazione della combustione

Si consegue 1 punto se non si utilizzano macchine a combustione nell'edificio o in centrale termica e al loro posto si impiegano macchine elettriche o teleriscaldamento.

6.3.2.7. A11 - Isolamento degli ambienti inquinanti

Si consegue 1 punto in caso di impiego di porte a chiusura automatica o raggiungimento di pressione negativa nei locali ritenuti potenzialmente inquinanti (lavanderie, sale fotocopie, depositi sporchi).

6.3.2.8. A12 - Filtrazione dell'aria

Per quanto concerne la tematica della filtrazione, si consegue 1 punto se si adottano filtri di classe pari o superiore a MERV-12 per ambienti che all'esterno hanno una concentrazione di PM_{2.5} inferiore a 23 µg/m³, mentre si richiedono filtri di efficienza pari o superiore a MERV-14 se all'esterno la concentrazione di PM_{2.5} risulta essere compresa tra 24 e 39 µg/m³.

I filtri devono essere sostituiti secondo le indicazioni dei costruttori e la loro sostituzione deve essere registrata e comunicata su base annuale sulla piattaforma digitale del WELL Insitute.

6.3.2.9. A13 - Miglioramento dell'aria immessa

Si consegue 1 punto se si utilizzano impianti a tutt'aria esterna. Qualora vi fosse ricircolo interno, devono essere previsti filtri ai carboni attivi oppure filtri almeno MERV14 o l'adozione di lampade antibatteriche UVGI.

6.3.2.10. A14 - Controllo dei microorganismi e delle muffe

L'ultima optimization consiste nel controllare e limitare la formazione di muffe e la proliferazione batterica all'interno delle unità di trattamento aria, spesso soggette a queste problematiche.

L'utilizzo di lampade ultraviolette in corrispondenza delle batterie fredde o delle bacinelle di raccolta, unitamente ad una buona progettazione che consenta l'ispezione delle stesse, comporta il conseguimento di 1 punto.

Definito e caratterizzato l'impianto, si possiedono tutte le informazioni di base per proseguire con lo studio oggetto di questa trattazione, ovvero l'applicazione ed il confronto dei requisiti richiesti dai protocolli internazionali più utilizzati (LEED,

BREEAM e WELL) con i risultati ottenuti attraverso una progettazione ospedaliera tradizionale nell'ambito della qualità dell'aria interna.

Nei successivi Capitoli saranno applicati i protocolli internazionali in modo critico nell'ambito di interesse al caso studio, valutando se l'applicazione dei protocolli migliori dal punto di vista qualitativo e quantitativo le caratteristiche progettuali utilizzate.

6.3.3. LEED: Applicazione al caso studio

Nel momento in cui si procede con l'applicazione di un protocollo ad un caso studio, il primo passo da compiere è la verifica del rispetto dei prerequisiti.

Per un caso studio come quello proposto, il primo prerequisito da rispettare è inerente alle prestazioni dell'impianto di ventilazione.

Il prerequisito impone di seguire per la determinazione dei minimi ricambi orari la normativa ASHRAE Standard 170 (per eventuali ambienti non trattati dalla normativa, si deve far riferimento alla normativa ASHRAE 62.1-2010) e di effettuare un monitoraggio delle portate utilizzando un dispositivo in grado di effettuare misurazioni con una tolleranza di +/- 10% rispetto ai valori minimi di portata. Per garantire il corretto funzionamento dell'impianto, questo dispositivo dovrà essere dotato di un sistema di segnalazione che si inneschi qualora il valore misurato risulti essere inferiore del 15% al valore di portata di progetto.

Alla luce di quanto illustrato nella procedura di progettazione presentata nel Capitolo 5, il prerequisito d'accesso al Protocollo non risulta essere soddisfatto se si progettasse utilizzando i minimi ricambi previsti dal DPR 14/01/1997 a causa delle sole sale operatorie e dei locali per il deposito di materiale sanitario.

A seguito di questa affermazione, è possibile valutare le strategie proposte per il miglioramento della qualità dell'aria interna.

6.3.3.1. Sistemi di ingresso

Il primo punto, legato all'utilizzo dei sistemi di ingresso, è facilmente rispettabile e già previsto dalla progettazione tradizionale, dal momento che in corrispondenza degli ingressi alla struttura sono presenti ampi spazi e bussole già predisposti per il posizionamento di tappeti con i requisiti dimensionali richiesti dal protocollo (estensione di almeno 3 metri nella principale direzione di percorrenza).

6.3.3.2. Prevenzione della cross contamination

Per quanto riguarda il tema della prevenzione della cross contamination, è possibile affermare che la richiesta inerente alle portate minime di estrazione dai locali potenzialmente inquinanti sia rispettata, dal momento che sono verificati i prerequisiti. È già normalmente prevista dalla progettazione tradizionale l'adozione di porte a chiusura automatica e l'adozione di controsoffitti a tenuta "hard-lid ceilings" per questa tipologia di applicazioni.

6.3.3.3. Filtrazione

Per quanto riguarda il tema della filtrazione, il Protocollo richiede l'adozione di filtri almeno MERV 13 per ogni ambiente. In un ambiente ospedaliero tale requisito non è difficile da raggiungere e risulta essere già soddisfatto con una progettazione effettuata secondo i criteri esposti al Capitolo 5, perché in ogni ambiente sono stati predisposti filtri di efficienza almeno pari all'88% e filtri assoluti per le sale operatorie. È ragionevole ipotizzare quindi che l'adozione del protocollo possa portare con sé una migrazione della qualità dell'aria qualora gli edifici trattati avessero una differente destinazione d'uso e requisiti di filtrazione inferiori.

6.3.3.4. Strategie avanzate addizionali per la qualità dell'aria interna

Al fine di ottenere verificare il possibile raggiungimento nella valutazione del credito, è possibile, come indicato al Paragrafo 6.1.3, intraprendere diverse strade. Una di queste è particolarmente interessante ai fini dello studio perché consente di comprendere se l'applicazione del protocollo LEED aggiunga o meno delle migrazioni alla progettazione tradizionale, ed è il metodo dell'aumento delle portate di ventilazione.

Nel caso in cui questo si verificasse, si potrebbe concludere che l'assegnazione del punteggio aggiuntivo sia facilitata già con una progettazione tradizionale.

Si è quindi aumentato il requisito dei ricambi orari minimi previsto dalla ASHRAE 170 del 30% e si è confrontato il risultato ottenuto con i ricambi reali calcolati. Ciò che è emerso è che il requisito non è sempre rispettato, ovvero in alcuni casi il valore di ricambi calcolato è compreso tra il minimo valore previsto e il valore maggiorato.

Per dare un'immagine rappresentativa quanto più completa, le tipologie di locali presentati nella seguente tabella sono differenti tra loro: si tratta infatti di una sala operatoria, un locale medico specializzato, un servizio igienico, un deposito apparecchiature, una lavanderia ed un locale adibito alla preparazione dei referti:

Tabella 42 – Verifica del requisito IEQ-c1

Codice Locale	Minimi ricambi orari ASHRAE 170	Ricambi maggiorati +30%	Ricambi reali calcolati
SO 0.3	20	26	15

STER ENDO 0.6	10	13	10
WC 0.15	10	13	10
DAP 0.24	4	5	4
LAV INF 0.81	10	13	11
REFERT 0.130	4	5	4

A seguito di queste considerazioni, si può giungere pertanto alla conclusione che la progettazione standard non porti con sé un automatico raggiungimento dei requisiti LEED per quanto riguarda il punteggio extra relativo alla qualità dell'aria, che rimane tuttavia raggiungibile applicando le strategie illustrate nel capitolo precedente.

Si rende necessario, tuttavia, osservare che per una progettazione ospedaliera in cui per i locali specifici i valori di ricambi ora sono già elevati, un ulteriore aumento delle portate non comporta necessariamente una migliore qualità dell'aria interna ma principalmente un maggior consumo di energia: per poter ambire ad una qualità interna migliore una possibile strada è quella di migliorare la tipologia di filtrazione.

Il protocollo riconosce il conseguimento di un punto aggiuntivo qualora si adottino sensori per il rilevamento della CO₂ di altri contaminanti nei locali densamente occupati. Tale scelta non è comune nella progettazione ospedaliera, poiché non richiesta dal DPR 14/01/1997 e perché in quest'ambito risulterebbe avere una limitata efficacia vista l'assenza di locali ad elevato affollamento.

6.3.3.5. Valutazione delle emissioni dei materiali

Come accennato in precedenza, Il tema della valutazione del contenuto e delle emissioni dei VOCs non è un tema nuovo per quanto riguarda la progettazione degli edifici in Italia.

Per il caso studio in esame, trattandosi di un progetto al di fuori degli Stati Uniti, il protocollo riconosce il riferimento per i valori di soglia dei VOCs la normativa AgBB/DIBt più recente, ovvero l'edizione 2021, largamente utilizzata a livello europeo.

La normativa AgBB/DIBt richiede un doppio test, a 3 e a 28 giorni, ed entrambi devono dare esito positivo, mentre i CAM indicano il rispetto di soglie massime di concentrazione dopo 28 giorni.

Da un confronto tra quanto richiesto dai CAM e quanto richiesto da AgBB/DIBt emerge subito una differenza sostanziale sul numero totale di VOCs ammessi dopo il periodo di 28 giorni: i CAM richiedono una soglia di $1500\mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre AgBB richiede il rispetto dei $1000\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La normativa AgBB prevede inoltre che tutte le sostanze ritenute cancerogene o potenzialmente tali (classificazione 1 o 2 secondo 67/548/EEC[44]) non superino la concentrazione soglia di $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ e che le rimanenti sostanze rispettino valori indicati all'interno della normativa stessa. Si propone un confronto tra i limiti previsti dai CAM e i limiti AgBB/DIBt.

Tabella 43- Confronto limiti CAM vs AgBB

Composto	Limite CAM [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Limite AgBB 2021 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Benzene	1	1
Tricloroetilene	1	1
Formaldeide	60	1
Acetaldeide	300	1
Toluene	450	1900
Tetracloroetilene	350	1
Xilene	300	2200
Diclorobenzene	90	1
Etilbenzene	1000	4400
Stirene	350	1

Imponendo dei limiti riferiti soltanto ad un periodo di tempo di 28 giorni e comunque inferiori rispetto a quanto richiesto dal protocollo LEED, l'applicazione dei soli Criteri ambientali minimi risulta essere insufficiente.

Si aggiunge inoltre che anche per il contenuto dei VOCs negli elementi di costruzione, il CAM non specifica delle soglie per materiali, mentre il LEED richiede il rispetto dei valori indicati nel CARB per i materiali in legno e della direttiva Decopaint Directive 2004/42/EC per i prodotti applicati esteriormente come adesivi, sigillanti, rivestimenti o impermeabilizzanti.

6.3.3.6. Certificazione della qualità dell'aria interna

Il protocollo LEED riconosce un credito relativo alla certificazione della qualità dell'aria interna, qualora si eseguisse un flussaggio ("flush out"), secondo le modalità ed i requisiti esposti al Paragrafo 6.1.6.

Questa tipologia di operazione non rientra nelle procedure progettuali tradizionali e si osserva inoltre che il protocollo non specifica requisiti appositi per un flussaggio ospedaliero, il che comporta la sua estensione alla totalità dell'edificio, quando probabilmente potrebbe essere di maggiore interesse limitare questo intervento alle aree nelle quali è previsto il collocamento dei pazienti. In alcuni locali specifici (si pensi ad esempio alle sale operatorie), dato l'elevato numero di ricambi orari, è possibile affermare inoltre che sia superfluo effettuare un flussaggio.

A seguito di queste considerazioni, è ragionevole supporre che tale procedura risulti essere di maggiore efficacia per altre tipologie di edifici.

Il protocollo prevede anche la possibilità di effettuare analisi chimiche dell'aria interna (pratica per la quale sono riconosciuti 2 punti per il presente credito), operazione che non è prevista dalla progettazione tradizionale e di possibile implementazione.

6.3.4. BREEAM: Applicazione al caso studio

Analogamente a quanto svolto per il protocollo LEED, il primo passo è verificare che siano stati rispettati i prerequisiti.

L'unico prerequisito da rispettare richiesto dal protocollo BREEAM 2016 è l'assenza di amianto nell'edificio oggetto dello studio.

L'obbligo dell'adozione dei CAM include nella progettazione il divieto di utilizzare amianto (in osservazione alla normativa CE 1907/2006[45]), pertanto è possibile affermare che il rispetto del prerequisito sia garantito a priori.

6.3.4.1. Qualità dell'aria interna

Il protocollo BREEAM riconosce un credito per la qualità dell'aria interna se si eseguono le misure atte a migliorarla presentate nel paragrafo 6.2.1.

Una strategia indicata dal BREEAM consiste nell'esecuzione di un flussaggio nella fase antecedente l'occupazione, analogamente a quanto previsto dal protocollo LEED. Trattandosi della medesima procedura, le considerazioni in merito all'applicazione sono le medesime del paragrafo 6.3.3.6.

Il protocollo richiede inoltre di effettuare analisi chimiche dell'aria, operazione che non è prevista dalla progettazione tradizionale e ritenuta nella pratica del tutto eccezionale.

Per quanto concerne la rimozione delle sorgenti contaminanti e la diluizione e controllo di questi ultimi si è tenuto conto nella progettazione di ricambi orari specifici per ogni tipologia di locale, per poter garantire le condizioni sufficienti ad una giusta areazione e riduzione dei contaminanti, come descritto dalla normativa ASHRAE Standard 170.

6.3.4.2. Ventilazione

Per ottenere l'accesso al credito relativo alla ventilazione è necessario che il credito relativo alla qualità dell'aria sia conseguito.

Per quanto riguarda il tema della filtrazione, l'analisi e il confronto svolto è analogo a quanto svolto per il LEED v.2 nel capitolo 6.3.3.3 a cui si rimanda la trattazione.

Infine, per quanto riguarda il tema dei sensori di anidride carbonica o di altri contaminanti, tale richiesta è già stata affrontata dal protocollo LEED e trattata nel paragrafo 6.3.3.6.

6.3.4.3. Emissioni da prodotti da costruzione

Il credito relativo alle emissioni da prodotti da costruzione è subordinato anch'esso al rispetto del credito relativo alla qualità dell'aria interna.

Per il caso studio in esame, trattandosi di un progetto al di fuori degli Stati Uniti, il protocollo riconosce il riferimento per i valori di soglia dei VOCs la normativa di riferimento sono le normative ISO 16000.

La normativa ISO 16000 richiede un doppio test, a tre e a 28 giorni, ed entrambi devono dare esito positivo, mentre i CAM indicano il rispetto di soglie massime di concentrazione dopo 28 giorni.

Un confronto tra quanto richiesto dai CAM e quanto richiesto da ISO 16000 permette di evidenziare i dati numerici riportati nella seguente tabella:

Tabella 44 – Limiti contaminanti CAM vs BREEAM

Composto	Limite CAM [mg/m ³]	Limite BREEAM [mg/m ³]
Formaldeide	0,06	0,06

TVOC	1,5	1
Cancerogeni 1A e 1B	0,09	0,001

In seguito a questa analisi, per tutte le voci espresse dal protocollo BREEAM, l'applicazione dei soli Criteri Ambientali Minimi risulta essere insufficiente, salvo per i limiti legati alla presenza di formaldeide.

6.3.4.4. Misurazione dei VOCs post-costruzione

Il protocollo BREEAM richiede il rispetto di soglie di emissione per i VOCs nella fase successiva alla costruzione ma antecedente all'occupazione. Tali soglie sono indicate al paragrafo 6.2.1 e rappresentano una novità nella progettazione del caso studio, poiché tali misurazioni non sono contenute all'interno dei criteri ambientali minimi italiani. Avendo tuttavia adottato nella progettazione materiali idonei agli standard qualitativi sulle emissioni imposti dai CAM, è possibile che tali misurazioni risultino di limitata efficacia.

6.3.5. WELL: Applicazione al caso studio

Dopo aver definito nei paragrafi precedenti le modalità nelle quali il protocollo WELL affronta il tema del miglioramento della qualità dell'aria degli ambienti interni, si prosegue, analogamente a quanto svolto nei capitoli 4 e 5 per i protocolli internazionali LEED e BREEAM, con l'applicazione al caso studio per valutare eventuali miglorie rispetto alla progettazione tradizionale.

Il primo step per l'applicazione del protocollo consiste nella verifica del soddisfacimento dei prerequisiti richiesti per l'accesso al concept inerente alla tematica di studio.

6.3.5.1. Prerequisiti

Il primo prerequisito è inerente alla qualità dell'aria e richiede il rispetto di determinate soglie di particolato, gas organici ed inorganici e radon (indicati al paragrafo 6.3.1). Come già osservato nel corso dell'applicazione dei protocolli LEED e BREEAM, i CAM non presentano una trattazione altrettanto dettagliata per il tema dei contaminanti; pertanto, non è possibile asserire a priori che con una progettazione tradizionale sia soddisfatto il presente prerequisito, bensì sarà doveroso procedere con ulteriori analisi preliminari.

L'alternativa presentata al prerequisito inerente alla qualità dell'aria, ovvero il monitoraggio dei VOCs da effettuarsi secondo le modalità indicate nel medesimo paragrafo, è una pratica che esula dalla consueta progettazione.

Dall'osservazione dei seguenti due prerequisiti, riguardanti il divieto di fumo e la ventilazione (paragrafo 6.3.1.2 e 6.3.1.3), si evidenzia una forte somiglianza con i prerequisiti richiesti dal protocollo LEED (esposti al paragrafo 6.1.1), protocollo redatto dal medesimo Ente certificatore (USGBC).

Per quanto riguarda l'ultimo prerequisito trattato, ovvero il tema dell'inquinamento prodotto nella fase costruttiva, può considerarsi soddisfatto poiché nella progettazione sono stati seguiti i CAM, in cui vengono espressi i limiti soglia da rispettare per la concentrazione dei contaminanti, come espresso nella tabella del capitolo 1.5.

Nel caso studio di una progettazione ospedaliera, può essere considerata verificata la procedura di montaggio in cui i condotti siano sigillati e protetti da parte della società incaricata.

6.3.5.2. A05 – Qualità dell'aria avanzata

La prima optimization proposta dal protocollo richiede il rispetto dei requisiti di concentrazione dei principali contaminanti entro soglie più stringenti rispetto a quanto richiesto dal primo prerequisito. L'applicazione dei soli CAM, come già osservato per l'applicazione dei prerequisiti, non soddisfa tali richieste. Questa strategia richiede pertanto studi aggiuntivi ed ulteriori approfondimenti, che esulano dalla pratica tradizionale.

6.3.5.3. A06 - Ventilazione avanzata

Al fine di migliorare la qualità dell'aria negli ambienti indoor, il protocollo WELL indica di aumentare i ricambi orari di aria per ogni ambiente del 30% rispetto ai ricambi minimi considerati all'interno di ASHRAE Standard 170 (tale procedura ottenere 1 punto nella valutazione). Il protocollo preme ulteriormente un aumento del 60% tali valori (2 punti). Come già osservato nell'ambito dell'applicazione del protocollo LEED (Paragrafo 6.3.3), non è possibile sostenere a priori che questa tipologia di intervento comporti un sostanziale miglioramento della qualità dell'aria interna per gli ambienti ospedalieri.

6.3.5.4. A07 - Finestre apribili

Per quanto riguarda l'optimization relativa all'adozione di finestre apribili, il primo requisito comportante l'assegnazione di 1 punto. La presenza di finestre

apribili, tuttavia, è ragionevole sostenere che non sia efficace e migliorativa per ambienti a contaminazione controllata come quelli del caso studio.

6.3.5.5. A08 – Monitoraggio della qualità dell'aria

Il monitoraggio della qualità dell'aria nelle modalità richieste è una pratica non prevista tradizionalmente e prerogativa del protocollo WELL. Questa procedura potrebbe risultare utile per avere un quadro dettagliato delle concentrazioni di contaminanti.

6.3.5.6. A09 – Controllo delle infiltrazioni dei contaminanti

Il tema delle possibili infiltrazioni/esfiltrazioni dall'edificio in esame è un tema già affrontato e considerato all'interno della progettazione tradizionale. Questa optimization è da considerarsi conseguita a causa della tipologia di edificio del caso studio: è infatti già prevista a priori l'adozione di sistemi di ingresso (come già evidenziato nel paragrafo 6.3.3.1 per l'applicazione del protocollo LEED, che presentava un requisito analogo).

In fase di progettazione, come illustrato al paragrafo 5.5, si è prevista la pressurizzazione degli ambienti, all'interno dei quali rientrano anche le bussole di ingresso, mantenute a pressione positiva.

6.3.5.7. A10 – Minimizzazione della combustione

Nel seguente paragrafo, sarà analizzata l'optimization relativa alla minimizzazione della combustione.

Nella presente trattazione, la centrale termica è stata trattata nel paragrafo 5.10, in cui vengono elencate le macchine scelte per poter soddisfare le potenze richieste dall'edificio analizzato. Sono state scelte 1 unità reversibile, 2 unità polivalenti e 2 Chiller, tutte alimentate da potenza elettrica.

Alla luce di ciò, si può affermare che progettare una centrale termica secondo i criteri esposti al paragrafo 5.10 conduca all'assegnazione automatica del punteggio, senza aggiungere ulteriori requisiti.

6.3.5.8. A11 – Isolamento degli ambienti inquinanti

Per quanto riguarda l'assegnazione del punto relativo alla source separation è possibile dire che i requisiti relativi sono stati soddisfatti.

Per una progettazione come quella di tipo ospedaliero, in cui l'imposizione di differenze di pressione risulta fondamentale per poter evitare la diffusione senza

controllo dei contaminanti, la presenza di porte automatiche ne è una diretta conseguenza e perciò risulta essere garantita.

6.3.5.9. A12 - Filtrazione dell'aria

L'obiettivo di migliorare la filtrazione dell'aria esterna viene trattato in questo punto del WELL in cui si richiede almeno una filtrazione MERV-12 quando vi è una concentrazione inferiore a $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di $\text{PM}_{2.5}$ nell'aria esterna, di MERV-14 se superiore. Il rispetto di questa optimization è garantito con l'adozione della classe di filtrazione scelta sulle ipotesi del caso studio.

6.3.5.10.A13 - Miglioramento dell'aria immessa

Questo punto può considerarsi ottenuto poiché nella progettazione è stato utilizzato un sistema a tutt'aria, tipologia d'impianto scelto alla luce delle considerazioni esposte al paragrafo 5.5.

6.3.5.11.A14 - Controllo dei microorganismi e delle muffe

La presente optimization affronta la tematica relativa al controllo ed alla limitazione delle muffe. Nonostante con l'applicazione di una progettazione standard le unità del trattamento aria prevedano già aperture per facilitarne l'ispezione, non rientrano nell'applicazione tipica l'utilizzo di lampade ultraviolette. Per questo motivo tale scelta è da considerarsi come una possibile implementazione impiantistica.

7 Analisi comparativa dei protocolli

Nel seguente capitolo si vogliono evidenziare gli aspetti principali dei 3 protocolli analizzati in unione con i Criteri Ambientali Minimi.

Si è deciso di confrontare nella seguente tabella riassuntiva solo i parametri ritenuti più importanti e che fossero trattati da almeno 2 dei protocolli analizzati.

Tabella45– Confrontoriassuntivo dei protocolli

		LEED	BREEAM	WELL	CAM
Normativa di riferimento per le portate		30% + ASHRAE Standard 62.1	Best practices nazionali	60% + ASHRAE Standard 62.1	UNI EN 16798-3
Livello di filtrazione		MERV 13	In accordo con EN 13779 Annex 3	MERV 14 ^d	-
Contaminanti	TVOCs [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1000 ^a	1000	-	1500
	Formaldeide [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 ^a	60	9 (50) ^b	60
	Cancerogeni [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	-	1		90 ^e
	PM2,5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	-	-	12 (15) ^b	-
	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	-	-	30 (50) ^b	-
	Benzene [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 ^a	-	3 (10) ^b	-
	Toluene [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1900 ^a	-	300 ^b	450
	O₃ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	-	-	(100) ^b	-
	NO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	-	-	40 ^b	-
	Tricloroetilene [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 ^a	-	-	1
	Acetaldeide [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 ^a	-	-	300
	Tetracloroetilene [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 ^a	-	-	350
	Xilene [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	2200 ^a	-	-	300
	Diclorobenzene [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 ^a	-	-	90
	Etilbenzene [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	4400 ^a	-	-	1000
Stirene [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1 ^a	-	-	350	

^a In riferimento al regolamento AgBB

- b In riferimento al WELL Performance Verification: test effettuato su un minimo di un'ora continuativa
- c OMS utilizza valori medi su un tempo di analisi pari a 1 anno
- d Con riferimento ad un valore di PM_{2.5} esterno compreso tra 24 e 39 µg/m³
- e Minimo valore relativo ai contaminanti considerati cancerogeni presenti nei CAM

L'eterogeneità dei parametri analizzati dai protocolli e le differenti modalità di misurazione degli stessi, preclude la possibilità di effettuare un'analisi comparativa quantitativa.

Dal punto di vista qualitativo, dalla tabella si può evincere in primo luogo come il protocollo LEED sia quello più completo per le voci analizzate, mentre il BREEAM, non raggiunga la stessa profondità di analisi nei relativi capitoli.

Emerge che Il WELL porta con sé un livello di dettaglio maggiore rispetto ai primi due protocolli e sotto il punto di vista della trattazione dei VOCs può essere paragonato ai Criteri Ambientali Minimi: il primo, sebbene con tempi di misurazione differenti dal più utilizzato valore dei 28 giorni, per quanto riguarda i contaminanti è sicuramente il più stringente dei protocolli analizzati mentre il secondo ha una trattazione più ampia per quanto riguarda le sostanze cancerogene.

È importante notare che la gestione dei contaminanti batteriologici e virali non sia analizzata da alcun protocollo, sebbene siano presenti in un ambiente ospedaliero e possano rappresentare un problema di maggior rilevanza rispetto ai VOCs .

Per quanto riguarda la ventilazione e la filtrazione, l'unico confronto quantitativo che si può evidenziare è quello tra LEED e WELL: il secondo, prendendo come base di riferimento il protocollo LEED, aumenta le performance richieste in entrambi gli ambiti, dimostrandosi anche in questa parte il più stringente nella trattazione.

8 Conclusioni

Nel corso di questa trattazione, si è affrontato il tema della progettazione di un impianto HVAC in ambito ospedaliero nel rispetto delle normative vigenti in Italia e dei principali riferimenti internazionali, valutando i possibili vantaggi derivanti dall'applicazione dei più diffusi protocolli volontari di sostenibilità ambientale in merito al miglioramento della qualità dell'aria interna.

L'applicazione dei requisiti previsti dai principali protocolli internazionali per quanto riguarda lo studio e la certificazione della qualità dell'aria degli ambienti indoor ha costituito una sfida insolita per la progettazione, per differenti ragioni, a partire dalla novità dello studio, dal momento che l'applicazione di tali protocolli nell'ambito di un appalto pubblico rappresenta un caso poco comune. Come già anticipato all'inizio della trattazione, infatti, l'applicazione dei protocolli internazionali è generalmente prevista per edifici privati, caratteristica che comporta la presenza di vincoli differenti rispetto a quelli incontrati ed analizzati durante questo studio.

Attraverso l'analisi dei protocolli volontari internazionali è emerso che la progettazione italiana non consente il rispetto automatico dei prerequisiti obbligatori di LEED e WELL, per via dei ricambi orari minimi di aria esterna previsti nelle sale operatorie e nei locali dedicati al deposito di materiale sanitario dal DPR 14/01/1997, che risultano essere inferiori a quelli previsti dallo standard ASHRAE Standard 170, riferimento dei protocolli internazionali.

È tuttavia necessario evidenziare che ciò non comporta una reale miglioria della qualità dell'aria interna: per le sale operatorie è infatti prevista la ricircolazione (con filtrazione assoluta) di parte dell'aria estratta e che per i locali di deposito del materiale sanitario, sebbene i ricambi orari minimi d'aria esterna richiesti risultino essere inferiori, è prevista dalla progettazione italiana una classe di filtrazione più elevata.

Per il contenimento della contaminazione esterna, i protocolli indicano diverse strategie. Entrando nello specifico, l'adozione di sistemi d'ingresso, la prevenzione della cross contamination e il rispetto di requisiti minimi di filtrazione. A causa

della tipologia di edificio è possibile affermare che sia già una consuetudine progettuale italiana prevedere sistemi di ingresso ed effettuare scelte orientate alla prevenzione della cross contamination quali l'adozione di porte a chiusura automatica, controsoffitti "hard-lid ceilings" e partizioni interne "deck to deck", nonché adottare in qualsiasi ambiente elevate classi di filtrazione (di norma almeno F7).

Ulteriori strategie proposte dai protocolli LEED e WELL in merito al miglioramento della qualità dell'aria indoor prevedono il perseguimento di una delle seguenti strategie: l'aumento dei ricambi orari minimi di almeno 30% rispetto a quanto indicato nella ASHRAE Standard 170 (fino al 60% per WELL), la prevenzione della contaminazione esterna con studi di tipo fluidodinamico oppure l'adozione di sensori di CO₂ (strategia indicata anche dal protocollo BREEAM).

È emerso, con riferimento ai parametri presi in considerazione nella progettazione del caso studio, che il primo requisito non risulta essere rispettato a priori per tutti gli ambienti, ma è ragionevole supporre che non porti con sé reali migliorie.

Infatti, per alcuni locali ospedalieri i ricambi orari minimi (previsti dal DPR 14/01/1997) risultano essere già elevati ed aumentarli ulteriormente potrebbe comportare unicamente un aumento dei consumi energetici, non traducendosi in un reale miglioramento della qualità dell'aria interna.

I protocolli LEED, BREEAM e WELL trattano ampiamente e con maggior completezza rispetto a quanto previsto all'interno dei Criteri Ambientali Minimi, la tematica dei VOCs, richiedendo concentrazioni ed emissioni inferiori. Questo suggerisce una possibile implementazione della normativa italiana, seppur sia ragionevole riconoscere a questa tipologia di contaminanti un'importanza di secondo rilievo per un ambito ospedaliero rispetto ad altre tipologie di contaminanti (chimici o biologici/virali).

Dall'analisi dei protocolli internazionali di sostenibilità è infatti emersa la mancanza di strategie o indicazioni progettuali inerenti al controllo dei contaminanti realmente responsabili delle AHI (Acquired Hospital Infections). Il controllo della contaminazione batterica e virale non è trattato in modo specifico e dedicato dai protocolli, che al contrario presentano delle possibili soluzioni per il contenimento dei contaminanti indoor più comuni, aventi caratteristiche differenti. Alla luce di ciò, per il controllo dei contaminanti biologici e virali tipicamente presenti negli ospedali, maggiore completezza è garantita dalla norma UNI 11425 vigente per il blocco operatorio (la quale specifica requisiti di filtrazione, pressioni differenziali e separazione degli ambienti) e dalle linee guida INAIL, che forniscono indicazioni anche comportamentali per la prevenzione della contaminazione.

Dall'analisi risulta che il protocollo WELL abbia, tra i protocolli analizzati, maggiori standard qualitativi e il maggior numero di requisiti, che tuttavia non rappresentano in molti casi reali miglie per gli ambienti ospedalieri, al contrario, potrebbero essere miglie per altre tipologie di edifici. Tra questi, un esempio è l'adozione di finestre apribili, la quale non risulta essere una strategia efficace per il miglioramento della qualità dell'aria in ambienti a contaminazione controllata come quelli del caso studio.

Una possibile miglie suggerita dal protocollo WELL, non prevista dalla progettazione tradizionale, è l'impiego di sensori per il monitoraggio continuo dei contaminanti tipicamente presenti nell'aria esterna (PM_{2.5}, O₃, CO₂, NO), in aggiunta alla formaldeide ed al numero di VOCs totali, in tutti gli ambienti occupati, miglie apportabile alla progettazione italiana. Nello specifico, questa strategia potrebbe essere interessante per applicazioni in aree altamente inquinate, nelle quali l'aria esterna è il carrier dei contaminanti monitorati.

Un ultimo aspetto, trattato dal solo protocollo WELL, di interesse per l'applicazione al caso studio è il controllo e la limitazione dei microorganismi all'interno delle unità di trattamento aria: l'utilizzo di lampade battericide in prossimità delle batterie fredde e delle bacinelle di raccolta potrebbe costituire una miglie impiantistica per l'ottenimento di standard di qualità dell'aria più elevati, strategia non prevista a livello normativo dalla progettazione italiana.

In conclusione, è possibile affermare che, a seguito delle analisi effettuate in questo studio, l'adozione dei requisiti di ventilazione e filtrazione richiesti dai protocolli internazionali per l'incremento della qualità dell'aria indoor non garantiscano a priori un significativo miglioramento degli standard già previsti per ambienti di tipo ospedaliero dalla progettazione italiana tradizionale, al netto delle ipotesi fatte nell'analisi del caso studio.

9 Bibliografia

- [1] UNI, "10339/95 - "Impianti aeraulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura", 1995.
- [2] Decreto del Presidente della Repubblica del 14/01/1997, "Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento alle regioni e alle province autonome di Trento e di Bolzano, in materia di requisiti strutturali, tecnologici ed organizzativi minimi per l'esercizio delle attività sanitarie da parte delle strutture p," 1997.
- [3] UNI, "11425 - 'Impianto di ventilazione e condizionamento a contaminazione controllata (VCCC) per il blocco operatorio - Progettazione, installazione, messa in marcia, qualifica, gestione e manutenzione'".
- [4] DIN, "1946 - Part 4 - 'Ventilation in buildings and rooms of health care,'" 2018.
- [5] ANSI/ASHRAE/ASHE, "Standard 170 - 'Ventilation of Healthcare Facilities,'" 2017.
- [6] ISPESL, "Linee guida sugli standard di sicurezza e di igiene del lavoro nel reparto operatorio," 2009.
- [7] WHO, "Air Quality Guidelines," 2021.
- [8] Decreto Ministeriale n.70 2 aprile 2015, "Regolamento recante definizione degli standard qualitativi, strutturali, tecnologici e quantitativi relativi all'assistenza ospedaliera," 2015.
- [9] EN, "779 - 'Particulate Air Filters for general ventilation,'" 2002.
- [10] UNI EN ISO, "Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale," 2006.
- [11] WHO, "Hand Hygiene and the surgical patient journey," no. Chapt.1.3.2, p. 12, 2016.
- [12] UNI EN ISO, "14644 - Parte 1 - 'Camere bianche ed ambienti controllati associati - Parte 1: Classificazione della pulizia dell'aria mediante

concentrazione particellare," 2016.

- [13] UNI EN, "13098 - Parte 3 -" Esposizione nei luoghi di lavoro - Misurazione dei microorganismi aerodispersi e dei composti microbici - Requisiti generali", 2002.
- [14] Decreto Ministeriale 11 ottobre 2017, "Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici," no. Chapt. 2.3.5.5, 2017.
- [15] DIN, "4108 - Part 2 - 'Thermal protection and energy economics in buildings minimum requirements to thermal insulation'".
- [16] DIN EN, "16798 - Part 3 - 'Energy performance of buildings – Ventilation for buildings – Part 3: For non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems,'" 2017.
- [17] DIN EN, "1751 - 'Ventilation for buildings: Air terminal devices- Aerodynamic testing of damper and valves,'" 2014.
- [18] DIN EN, "12097 - 'Ventilation for buildings – Ductwork – Requirements for ductwork components to facilitate maintenance of ductwork systems,'" 2006.
- [19] ASHRAE, "Standard 62.1 - 'Ventilation for acceptable indoor air quality,'" no. Chapt. 6.2.1.2.1, 2019.
- [20] ANSI/AIHA, "Z 9.5 - 'Laboratory Ventilation,'" 2012.
- [21] ANSI/ASHRAE/ASHE, "Standard 170 - 'Ventilation of Healthcare Facilities,'" no. Tab.6.1, p. 2017.
- [22] ASHRAE, "Guideline 12 - 'Guidance on reducing the risk of legionella,'" 2020.
- [23] ASHRAE, "Guideline 12 - 'Guidance on reducing the risk of legionella,'" no. Chap. 4.2.2.2b, Fig.1.
- [24] USP, "795 - 'Pharmaceutical compounding – Non sterile preparations,'" 2014.
- [25] USP, "797 - 'Pharmaceutical compounding – Sterile preparations,'" 2014.
- [26] USP, "800 - 'Pharmaceutical compounding – Hazardous drugs, handling in

- healthcare settings,” 2014.
- [27] NFPA, “99 - ‘Health care facilities code,’” 2021.
- [28] ANSI/ASHRAE/ASHE, “Standard 170 - ‘Ventilation of Healthcare Facilities,’” no. Tab. 8.1, 2017.
- [29] UNI EN ISO, “16890 - Parte 1 - ‘Filtri d’aria per ventilazione generale: Specifiche tecniche, requisiti e sistema di classificazione dell’efficienza basato sul particolato (ePM),” 2017.
- [30] ASHRAE, “Standard 90.1 - ‘Energy standards for buildings except low-rise residential buildings,’” 2013.
- [31] CDC, “‘Interim Infection Prevention and Control Recommendations for Healthcare Personnel During the Coronavirus Disease,’” 2020.
- [32] EPA, “‘National Ambient Air Quality Standards,’” 2021.
- [33] CDPH, “‘Standard Method for the testing and the evaluation of volatile organic chemical emissions from indoor sources using environmental chambers,’” vol. v1.1, 2010.
- [34] AgBB, “‘Evaluation scheme for VOCs emissions from construction products,’” 2010.
- [35] DIB, “‘Testing Method for VOCs,’” 2010.
- [36] ISO, “‘16000 - Part 3 - ‘Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in indoor air and test chamber air – Active sampling method,’” 2011.
- [37] ISO, “‘16000-Part 6- ‘Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS or MS-FID,’” 2011.
- [38] ISO, “‘16000-Part 9- ‘Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing- Emission test chamber method,’” 2006.
- [39] CARB, “‘Airborne Toxic Control Measure,’” 2010.
- [40] CE, “‘European Decopaint Directive 2004/42/CE of the European Parliament and Council of 21 April 2004 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain paints and

-
- varnishes and vehicle refinishing product," 2004.
- [41] ISO, "11890 - Part 1 - "Determination of volatile organic compound (VOC) content",," 2011.
- [42] ASHE/CDC, ""Infection Control Risk Assessment (ICRA),"" 2014.
- [43] ISO/IEC, "17025 - 'General requirements for the competence of testing and calibration laboratories,'" 2017.
- [44] EEC, ""Council directive 67/548/EEC of 27 June 1967 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions relating to the classification, packaging and labeling of dangerous substances,"" 1967.
- [45] CE, "1907/2006 - 'Regulation of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the registration, evaluation, authorization, and restriction of chemicals (REACH),'" 2006.
- [46] UNI EN, "1822 - Part 1- 'High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA: Classification, performance testing, marking,'" 2019.
- [47] ASHRAE, "Standard 52.2 - 'Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size,'" 2017.
- [48] FGI, ""Guidelines for design and construction of Hospitals and Outpatient facilities,"" 2018.

Appendice A – Confronto classificazione dei filtri

Lo scopo di questa appendice è quello di presentare le classificazioni di filtrazione per filtri generali in relazione alle Normative citate all'interno della presente Tesi e fornire pertanto al lettore gli strumenti di base per comprendere le differenze sostanziali tra le stesse e le problematiche derivanti dal loro confronto.

Si premette che la presentazione seguente non è da intendersi come esaustiva di tutti i concetti espressi dalle singole normative, ma vuole essere una guida per il lettore. Per ulteriori approfondimenti si rimanda ai testi completi delle normative stesse.

EN 779 - 2012

Nel corso dell'ultimo decennio, a livello europeo, la principale normativa di riferimento è stata la EN 779 del 2012, che tratta i filtri d'aria antipolvere per ventilazione generale e determina le prestazioni di filtrazione. Essa prevedeva la suddivisione dei filtri in 3 classi, a seconda della loro efficienza di filtrazione: Fini ("F"), Medi ("M") e Grossolani ("G"), a loro volta divisi in sotto-classi. La suddivisione è la seguente:

- Classi G: basate sui valori di Arrestanza media (calcolata con metodo gravimetrico) a una perdita di carico finale di 250 Pa;
- Classi M: basate sull'efficienza media relativa a particelle di dimensioni 0,4 micron a una perdita di carico finale di 450 Pa;
- Classi F: basate sull'efficienza minima e sull'efficienza media relativa a particelle di dimensioni 0,4 micron a una perdita di carico finale di 450 Pa.

Classificazione gruppo di polveri	Classe del filtro	Efficienza media ponderale A_m	Efficienza media per particelle di $0,4 \mu m$ E_m	Efficienza minima per particelle di $0,4 \mu m$ E_m	Perdita di carico finale
		%	%	%	Pa
Grossolane	G1	$50 \leq A_m < 65$	-	-	250
	G2	$65 \leq A_m < 80$	-	-	250
	G3	$80 \leq A_m < 90$	-	-	250
Medie	G4	$90 \leq A_m$	-	-	450

	M5	-	$40 \leq Em < 60$	-	450
	M6	-	$60 \leq Em < 80$	-	450
Fini	F7	-	$80 \leq Em < 90$	35	450
	F8	-	$90 \leq Em < 95$	55	450
	F9	-	$95 \leq Em$	70	450

Tabella A1 – classificazione secondo EN 779:2012

EN ISO 16890 - 2018

A partire dal 2018, questa normativa è stata sostituita dalla normativa EN ISO 16890, la quale ha imposto una differente nomenclatura ma soprattutto nuovi criteri di determinazione dell'efficienza rispetto alla precedente. Essa, a differenza della normativa EN 779, considera per i filtri medi e fini l'efficacia di filtrazione ad un particolato di dimensioni comprese tra 3 e 10 μm , oltre a nuovi ΔP ed altri parametri di prova.

Gruppo	Classe			Perdita di carico finale
	ePM1	ePM2.5	ePM10	
	$0,3 \leq x \leq 1$	$0,3 \leq x \leq 2,5$	$0,3 \leq x \leq 10$	[Pa]
ISO Coarse	-	-	< 50%	200
ISO ePM10	-	-	$\geq 50\%$	300
ISO ePM2.5	-	$\geq 50\%$	-	300
ISO ePM1	$\geq 50\%$	-	-	300

Tabella A2 – classificazione secondo EN ISO 16890

La differente metodologia di test rende le due normative incomparabili in modo immediato, pertanto EUROVENT, l'Associazione Europea per il clima degli ambienti interni (HVAC), il raffreddamento di processo e per la catena del freddo per l'industria", ha proposto una propria tabella di confronto, ottenuta per via sperimentale.

Questa tabella è estratta dalla Raccomandazione 4/23:2020 Annex 1 e riportata di seguito:

EN 779:2012	EN ISO 16890		
Classe del filtro	ePM1	ePM2.5	ePM10
M5	5% - 35%	10% - 45%	40% - 70%
M6	10% - 40%	20% - 50%	60% - 80%
F7	40% - 65%	65% - 75%	80% - 90%
F8	65% - 90%	75% - 95%	90% - 100%
F9	80% - 90%	85% - 95%	90% - 100%

Tabella A3 – comparazione EN 779 / EN ISO 16890

ASHRAE Standard 52.2 - 2017

La normativa americana di riferimento, prima dell'avvento della EN ISO 16890 per la filtrazione è lo standard ASHRAE Standard 52.2 – 2017. Esso prevede la classificazione dei filtri in base al valore di MERV (Minimum Efficiency Reporting Value). Sebbene a prima vista sembri simile alla classificazione ISO 16890 poiché valuta l'efficienza di filtrazione del particolato di dimensioni comprese tra 3 e 10 μm , ha metodi di prova differenti e non è, anch'essa, direttamente confrontabile. Essa, infatti, prevede la suddivisione della grandezza del particolato in 12 range raccolti in 3 gruppi (E1, E2, E3). L'efficienza di filtrazione del gruppo corrisponde alla minima efficienza riscontrata tra i range di particolato dello stesso.

Range	Dimensione [μm]	Gruppo
1	0,3 - 0,4	E1
2	0,4 - 0,55	
3	0,55 - 0,70	
4	0,70 - 1	
5	1 - 1,30	E2
6	1,30 - 1,60	

7	1,60 - 2,20	E3
8	2,20 - 3	
9	3 - 4	
10	4 - 5.50	

MERV	Range 1 (0,3 - 1,0)	Range 2 (1,0 - 3,0)	Range 3 (3,0 - 10,0)	Arrestanza media [%]
1	n/a	n/a	E3 < 20	$A_{avg} < 65$
2	n/a	n/a	E3 < 20	$65 \leq A_{avg} < 70$
3	n/a	n/a	E3 < 20	$70 \leq A_{avg} < 75$
4	n/a	n/a	E3 < 20	$75 \leq A_{avg}$
5	n/a	n/a	$20 \leq E3$	n/a
6	n/a	n/a	$35 \leq E3$	n/a
7	n/a	n/a	$50 \leq E3$	n/a
8	n/a	$20 \leq E2$	$70 \leq E3$	n/a
9	n/a	$35 \leq E2$	$75 \leq E3$	n/a
10	n/a	$50 \leq E2$	$80 \leq E3$	n/a
11	$20 \leq E1$	$65 \leq E2$	$85 \leq E3$	n/a
12	$35 \leq E1$	$80 \leq E2$	$90 \leq E3$	n/a
13	$50 \leq E1$	$85 \leq E2$	$90 \leq E3$	n/a
14	$75 \leq E1$	$90 \leq E2$	$95 \leq E3$	n/a
15	$85 \leq E1$	$90 \leq E2$	$95 \leq E3$	n/a
16	$95 \leq E1$	$95 \leq E2$	$95 \leq E3$	n/a

Tabella A4 – classificazione secondo ASHRAE Standard 52.2

Per poter ovviare al problema del confronto tra ASHRAE Standard 52.2 e ISO 16890, l'associazione statunitense National Air Filtration Association ("NAFA"), ha proposto, a seguito di prove sperimentali, una tabella di selezione rapida per progettisti, riportata di seguito.

ISO 16890	MERV	Grandezza del particolato di riferimento [μm]
ISO Coarse	1 - 6	> 10
ISO Coarse > 95%	7 - 8	> 10
ePM10	9 - 10	3 - 10
ePM2.5	11 - 12	1 - 3
ePM1	13 - 16	0.3 - 1

Tabella A5 – comparazione ISO 16890 / ASHRAE Standard 52.2

Lista delle figure

Figura 1 – Sviluppo di legionella al variare della temperatura	31
Figura 2 – Modello 3D dei locali del caso studio	41
Figura 3 – Modello con ombreggiamenti orizzontali	53
Figura 4 – Modello con ombreggiamenti orizzontali e verticali.....	53
Figura 5 – Confronto degli apporti solari.....	55
Figura 6 - Suddivisione area per UTA piano 0.....	61
Figura 7 - Suddivisione area per UTA piano 1.....	61
Figura 8 - Suddivisione area per UTA piano 2.....	61
Figura 9 – Diagramma psicrometrico UTA 7.....	68
Figura 10 – Diagramma psicrometrico UTA 8.....	68
Figura 11- Diagramma psicrometrico UTA 5 (SO)	69
Figura 12 - Plafone filtrante Sagicofim a velocità differenziata	72
Figura 13 - Profilo di velocità del plafone filtrante.....	72
Figura 14 – Rappresentazione dei flussi d’aria nel blocco operatorio	74
Figura 15 – Andamento per mese della richiesta termica.....	78

Lista delle tabelle

Tabella 1 - Valori minimi di portata di aria esterna secondo UNI 10339/95	3
Tabella 2 - Requisiti minimi di filtrazione secondo UNI 10339/95	4
Tabella 3 – concentrazioni limite dei contaminanti indoor secondo EN16798-3.....	5
Tabella 4 – Requisiti di minima efficienza di filtrazione secondo 16798-3.....	7
Tabella 5 – Tabella di selezione dei filtri	8
Tabella 6 – Limiti di emissione richiesti dai CAM.....	19
Tabella 7 – Concentrazioni limite di contaminanti richieste da DIN 1946.....	23
Tabella 8– Requisiti di distanza minima per prese d’aria.....	28
Tabella 9 – Ventilazione degli spazi secondo ASHRAE Standard 170	33
Tabella 10 – Confronto delle portate di ventilazione prescritte.....	37
Tabella 11- Confronto delle condizioni esterne di riferimento	38
Tabella12 – Confronto dei requisiti di filtrazione	39
Tabella 13 – Temperature mensili di riferimento.....	42
Tabella 14 – Valori limite di trasmittanza	44
Tabella 15 - Stratigrafie dell'involucro.....	45
Tabella 16 – Stima delle potenze degli apparecchi illuminanti.....	49
Tabella 17 – Valori di affollamento considerati.....	50
Tabella 18 – Carichi derivanti dalle attrezzature	51
Tabella 19 – Carichi per attrezzature specifiche.....	51
Tabella20 – Carichi termici calcolati	52
Tabella 21 – Report prestazionale degli ombreggiamenti	54
Tabella 22 – Pressioni di riferimento.....	56
Tabella 23 - Richiamo dei valori di ricambi minimi secondo UNI 10339/95.....	58
Tabella 24 – Temperature medie di immissione calcolate	59
Tabella 25 – Portate d’aria esterna calcolate per le UTA.....	62

Tabella 26 – Stima delle potenze dei locali serviti dall’UTA 7.....	64
Tabella 27 – Stima delle potenze dei locali serviti dall’UTA 8.....	66
Tabella 28 – Punti del diagramma psicrometrico nel caso estivo.....	69
Tabella 29 – Punti del diagramma psicrometrico nel caso invernale.....	70
Tabella 30 – Carichi UTA 5.....	71
Tabella 31 – Valori di pressione differenziali utilizzati.....	73
Tabella 32 – Potenze delle UTA.....	76
Tabella 33 – Potenze totali in centrale.....	76
Tabella 34 - Macchine.....	77
Tabella 35 - Scorecard IEQ LEED.....	81
Tabella 36 – Concentrazione massima di contaminanti secondo i NAAQS.....	84
Tabella 37 – Limiti emissioni materiali LEED.....	87
Tabella 38 – Punteggio per le emissioni dei materiali.....	87
Tabella 39 – Limiti contaminanti BREEAM.....	95
Tabella 40 – Limiti concentrazioni WELL.....	100
Tabella 41 – Limiti CO ₂ WELL.....	101
Tabella 42 – Verifica del requisito IEQ-c1.....	105
Tabella 43 - Confronto limiti CAM vs AgBB.....	107
Tabella 44 – Limiti contaminanti CAM vs BREEAM.....	109
Tabella 45 – Confronto riassuntivo dei protocolli.....	114

