

CONDIZIONAMENTO NAVALE

2025



CENNI SUL CONDIZIONAMENTO NAVALE..... 4

PREAMBOLO	4
GLI IMPIANTI PER IL CONDIZIONAMENTO NAVALE	6
Figura 1- Spaccato nave con evidenza dei locali contenuti	7
DESCRIZIONE DELLE TIPOLOGIE	8
TIPOLOGIE DI NAVI.....	8
TIPOLOGIE DI IMPIANTI	9
Meccaniche.....	9
Impianti ad espansione diretta di gas frigorifero	9
Impianti a circolazione di acqua refrigerata/calda	9
Filosofia di funzionamento.....	11
Impianti a tutt'aria esterna (Cruise, Militari, Yacht, Ricerca)	11
Impianti a sola percentuale di aria di ricircolo e/o a tutt'aria (Carico, Lavoro, Piattaforme petrolifere)	11
Sistemi al 100% di aria esterna.....	11
Sistemi al 100% di aria esterna ma con trattamento separato dei carichi esogeni ed endogeni	11
Sistemi ibridi a percentuale di ricircolo o a tutt'aria differenziate dai locali serviti.....	11
Sistemi a percentuale di ricircolo.	11
LA PROGETTAZIONE DI UN IMPIANTO DI CONDIZIONAMENTO	12
Il processo.....	12
Pianificazione	12
Progettazione.....	12
Acquisto	12
Montaggio.....	12
Commissioning.....	12
La documentazione.....	12
Nella progettazione, è fondamentale sottolineare l'importanza di due documenti contrattuali essenziali per la realizzazione di un sistema di condizionamento navale. Questi documenti rivestono un ruolo cruciale nella definizione del sistema da progettare e fornire.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
La specifica tecnico/contrattuale	12
La control & philosophy	13
Figura 2- Diagramma dei documenti necessari per la progettazione e relazioni	14

PROPOSTA DI ESERCIZIO SUL CALCOLO TERMICO ESTIVO/INVERNALE..... 15

CALCOLO TERMICO	15
DATI DI PROGETTO.....	15
Tipologia delle pareti esterne	15
Tipologia finestre.....	15
Tipologia pareti interne	16
Tipologia del ponte di calpestio	16
Tipologia del ponte a cielo	16
Locali interni all'ufficio.....	16
Figura 3- Pianta esplosa del locale	17
In un impianto a tutta aria esterna, è essenziale calcolare il volume di aria di ricambio necessario per le persone e per l'estrazione, confrontandolo con le esigenze determinate dal bilancio termico. Questo confronto consente di verificare se la portata d'aria esterna calcolata supera quella richiesta per le persone e l'estrazione. Se la portata d'aria esterna risulta insufficiente, sarà necessario adeguarla, considerando l'impatto sul carico di trattamento..	17
QUESITI	17
Figura 4- Schema masse d'aria	18
Figura 5- Schema riassuntivo dei punti di processo	19
Figura 6- Diagramma ASHRAE	19
SOFTWARE DI CALCOLO	20

OTTIMIZZAZIONE DEGLI IMPIANTI RELATIVAMENTE AL BENESSERE	21
<i>ANEP 25 (navi di superficie NATO)</i>	21
Figura 7 - Sensazione del corpo a diversi livelli di altezza in un ambiente	22
OTTIMIZZAZIONE DEGLI IMPIANTI RELATIVAMENTE ALLE EMISSIONI	24
Figura 8- Esempio calcolo benessere ambiente secondo ASHRAE 55	24
Figura 9- Range temperatura ottimale basato su movimento e indumenti	25
Figura 10- Comparazione diverse temperature in ambiente	26
Figura 11- Azioni per ottimizzazione e reazioni alle proposte	27
Figura 12- Comparazione fra situazione attuale ed eventuale ottimizzazione	28
ROI	29
<i>Formula del ROI</i>	29
Importanza del ROI	29
Il ROI è uno strumento fondamentale per le aziende e gli investitori perché:	29
Limiti del ROI	29
Nonostante la sua utilità, il ROI presenta anche alcuni limiti:	29
AZIONI	30
<i>In fase di progetto e costruzione della nave</i>	30
Figura 13- Andamento delle temperature estive, autunnali, invernali e primaverili dei luoghi o delle rotte considerati per il calcolo	30
Figura 14- ore di funzionamento annuali alla temperatura esterna	30
Figura 15- Tavola di comparazione fra gestione con automazione normale ed automazione evoluta "eVent" della Società Novenco (DK)	31
Figura 16- Particolare di fissaggio isolamento a paratia	31
Figura 17 – Calcolo relativo al risparmio estivo	32
Figura 18- Esempio di suggerimento per risparmio energetico	32
Figura 19- Grafico di riferimento per percentuali di CO ₂	33
Figura 20- Andamento dei carichi endogeno lavanderia nelle 24 h	33
Figura 21- Andamento dei carichi endogeni cucine nelle 24 h	34
Figura 22- Andamento giornaliero output potenzialità frigorifera	34
Figura 24 – Funzionamento con valvole tradizionali a 3 vie	35
Figura 23 - Funzionamento con valvole a 2 vie	35
Figura 25- Funzionamento delle pompe con valvole 3 vie	36
Figura 26- Funzionamento delle pompe con valvole 2 vie	36
<i>In fase di gestione del sistema di condizionamento durante la navigazione o la sosta in banchina</i>	37
Teatro	37
Scale	37
Ristoranti	37
NON SOLO CONDIZIONAMENTO	39
Figura 27- Sistema di ventilazione apparato motore	39
IL CALCOLO ISO PER LA VENTILAZIONE AM	40
SOLAS (SAFETY OF LIFE AT SEA)	41
Figura 28- Esempio di isolamento termica e/o tagliafuoco	41
MITIGAZIONE DEI VIRUS A BORDO DELLE NAVI	42
Figura 30- Processo per la mitigazione dei virus negli impianti di condizionamento	43

PROGRAMMAZIONE E GESTIONE DEL PROGETTO ERRORE. IL SEGNALE NON È DEFINITO.

BIBLIOGRAFIA	45
--------------------	----

CENNI SUL CONDIZIONAMENTO NAVALE

(le navi, i sistemi, le emissioni, la sicurezza ed il project management)

Preambolo

I primi impianti di condizionamento dell'aria installati a bordo delle navi risalgono agli anni '50, principalmente sulle navi da crociera. Questi sistemi erano progettati per ottimizzare il comfort dei passeggeri in climi tropicali e subtropicali, dove le elevate temperature rendevano l'ambiente interno delle navi scomodo. L'implementazione di tali impianti ha segnato un significativo progresso nella tecnologia marittima, consentendo alle navi di offrire un ambiente più confortevole e accogliente per i passeggeri. Questo sviluppo ha reso le crociere più attraenti per un pubblico più vasto.

L'adozione di misure per ottimizzare il comfort a bordo delle navi ha rappresentato un elemento cruciale nello sviluppo del settore marittimo, in particolare con l'introduzione di normative come la circolare "Gente di Mare" del 1939. Queste iniziative hanno avuto un impatto significativo non solo sul design e sulla costruzione delle navi, ma anche sui calcoli termici applicabili, consentendo l'esclusione dell'irraggiamento solare dai calcoli termici nel caso in cui le navi fossero dotate di tendalini esterni. Tale regolamentazione si è dimostrata di fondamentale importanza per il benessere a bordo, in particolare per le navi da carico e militari, contribuendo in modo sostanziale al miglioramento delle condizioni di vita e lavoro in mare.

In merito al tema in questione, si forniscono informazioni dettagliate sulle differenze tra le varie tipologie di impiego degli impianti, sia in ambito terrestre che navale. Inoltre, si analizzano le diverse categorie di navi e i vari sistemi di condizionamento disponibili.

Di seguito:

- *brevi note relative agli impianti di condizionamento navale e quanto li contraddistingue da quelli civili ed industriali*
- *tipologie di navi*
- *tipologie di impianti*
- *una proposta di calcolo termico con applicazione del calcolo su diagramma di Mollier*
- *possibili ottimizzazioni degli impianti relativamente al benessere*
- *possibili ottimizzazioni degli impianti relativamente alle emissioni*
- *cenni inerenti alla SOLAS*

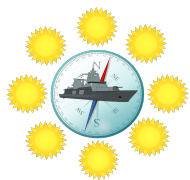
Non ultima come importanza:

- *programmazione e gestione nell'esecuzione del progetto*

La programmazione riveste un ruolo cruciale nella gestione dei progetti, poiché assicura un utilizzo ottimale delle risorse e un controllo efficace per il mantenimento del budget stabilito. Una programmazione ben strutturata permette di definire un calendario preciso e dettagliato, facilitando il monitoraggio dei progressi e garantendo il rispetto delle scadenze fissate. Questo approccio è

fondamentale non solo per mantenere il controllo sui costi e sui tempi, ma anche per garantire il raggiungimento degli obiettivi del progetto in modo efficiente. Attraverso una pianificazione accurata, è possibile identificare e gestire tempestivamente eventuali rischi o ritardi, consentendo interventi rapidi che evitano impatti negativi sul progetto nel suo complesso.

GLI IMPIANTI PER IL CONDIZIONAMENTO NAVALE



Il calcolo termico nel settore navale presenta caratteristiche distintive rispetto a quello applicato in ambito civile o industriale. Le specificità intrinseche delle imbarcazioni e delle navi, siano esse di natura civile o militare, richiedono un'attenzione particolare e un approccio metodologico differente per garantire l'efficacia e la sicurezza del calcolo termico.

Le differenze salienti:

- *L'orientamento della nave, che è un oggetto in continuo movimento e quindi il calcolo viene sempre eseguito tenendo conto delle condizioni peggiorative di esposizione al sole (irraggiamento)*
- *La molteplicità della tipologia dei locali contigui a bordo di una nave, che porta ad un incremento macchinoso dei calcoli per un unico locale.*
- *Le normative (soprattutto per le navi passeggeri e militari) che portano il calcolo ad una valutazione particolare di quello che è l'apporto di aria esterna relativamente agli occupanti ed alla tipologia di locale preso in esame*
Es. ISO 7547, IMO, ANEP 25 (NATO navi di superficie), ASHRAE ...
- *Le condizioni contrattuali imposte dalla compagnia armatrice e quindi dal "prime contractor" con tutte le difficoltà che questo comporta nel percorso della progettazione*
- *La tipologia variabile dei «divisori» tra locale e locale, pareti, soffitti, ponti e vetrate*
- *Le temperature di contratto che normalmente differiscono dalle temperature del civile/industriale in quanto il comfort richiesto a bordo delle navi è nettamente superiore*
- *L'apporto di aria esterna*
- *La tipologia dei macchinari (impatto sul calcolo e sulle emissioni)*
- *La tipologia dei gas frigoriferi (impatto sul calcolo e sulle emissioni)*
- *Un'attenzione particolare deve essere riservata alla SOLAS, la Convenzione dell'IMO per la salvaguardia della vita umana in mare. Queste normative esercitano un'influenza significativa sulla progettazione degli impianti di condizionamento.*

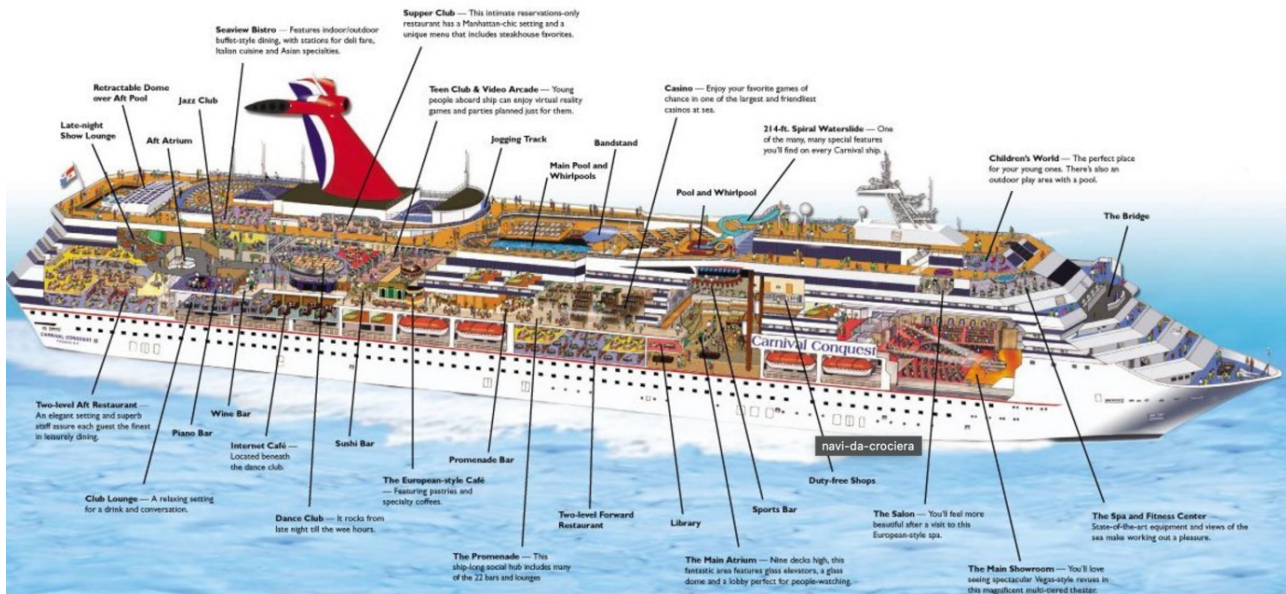


Figura 1- Spaccato nave con evidenza dei locali contenuti

L'analisi della pagina precedente mette in luce la complessità legata alle diverse tipologie di locali da servire, evidenziando l'impegno necessario per effettuare un calcolo termico navale. Si prendono in considerazione ponti scoperti, locali sottostanti e adiacenti, ciascuno con caratteristiche e requisiti termici variabili, oltre alle pareti esterne e interne ad alta temperatura.

DESCRIZIONE DELLE TIPOLOGIE

Esistono diverse categorie di navi, ciascuna con specifiche esigenze progettuali legate all'uso previsto e alle normative vigenti.

TIPOLOGIE DI NAVI

Nell'ambito della progettazione, è comune confrontarsi con varie interpretazioni progettuali, le quali sono influenzate dalla tipologia della nave e dalle scelte strategiche della compagnia armatoriale.

Di seguito un elenco di categorie di navi che usualmente si possono presentare:

- *Carico* (rinfuse, prodotti petroliferi e derivati, porta frutta¹, ...)
- *Lavoro* (piattaforme di trivellazione, posacavi, posatubi, rimorchi, trasporto, servizio...)
- *Ricerca* (particolari navi che potremmo definire “porta laboratori”)
- *Militari* (di superficie e non)
- *Cruise* (passeggeri, traghetti a breve o a lunga percorrenza)
- *Yacht* (lusso)

Ogni tipologia di nave presenta esigenze specifiche che richiedono impianti dedicati, sia in termini di precisione del servizio che di tipologia di impianto. In particolare, nel settore degli yacht e delle navi militari, si effettuano scelte molto mirate e talvolta peculiari, influenzate da una varietà di fattori.

- *Spazi ridottissimi per le sistemazioni degli impianti e dei macchinari*
- *Estrosità della società armatrice*
- *Soluzioni architettoniche che non si incontrano usualmente*
- *Soluzioni meccaniche che esulano dalla normalità*
- *Applicabilità della SOLAS*
- *Normative, IMO, MARPOL, RINAMIL, ..*

¹ Molto importanti in questo caso i ricambi orari di ventilazione e talvolta per frutta speciale che debba affrontare lunghe traversate magazzini ad atmosfera controllata (composizione dell'aria e dell'umidità, temperatura...)

TIPOLOGIE DI IMPIANTI

In considerazione di quanto esposto nel paragrafo precedente, risulta evidente la diversificazione delle tipologie di impianti installati a bordo delle navi. Le categorie di impianti devono essere distinte sia in base alla componente meccanica che a quella operativa.

Meccaniche

Impianti ad espansione diretta di gas frigorifero

Attualmente, questi impianti vengono utilizzati per estensioni semplici, con compressori frigoriferi collocati vicino ai terminali di trattamento dell'aria. Tuttavia, gli impianti di questo tipo, che prevedono estensioni all'interno degli alloggi, sono stati progressivamente dismessi per una serie di motivi:

- *Perdite di gas all'interno dei locali abitati*
- *La stesura di tubo in rame per la circolazione del gas richiede saldatura anche in spazi difficilmente raggiungibili con eventuale rischio di perdite*
- *Volume del gas necessario anche in considerazione delle emissioni derivanti da interventi di manutenzione*
- *Emissioni da perdita di gas*
- *Macchinosità nell'installazione*
- *Difficoltà nel settaggio (regolazione) dei terminali*
- *Fase di commissioning molto lunga e laboriosa*
- *Gestione più onerosa dei sistemi di sicurezza adibiti al controllo delle perdite di gas non solo nei locali macchinario ma anche nei locali di vita comune*

Impianti a circolazione di acqua refrigerata/calda

Attualmente, tali sistemi sono ampiamente adottati su quasi tutte le imbarcazioni e navi. Sebbene rappresentino un investimento significativo in termini di fornitura meccanica, offrono al contempo una notevole versatilità, consentendo la progettazione di sistemi con funzioni ibride.

- *Praticità nella stesura del circuito acqua i cui tubi non richiedono saldature*
- *Praticità di installazione dei terminali*
- *Praticità nel settaggio*
- *Praticità nell'uso*
- *Fase di commissioning molto rapida*

I sistemi impiantistici possono presentare diverse tipologie, caratterizzate da sostanziali differenze in relazione a soluzioni ecologiche e altre specifiche esigenze. Questi impianti operano mediante circolazione di acqua fredda e calda. La configurazione più sofisticata di questa categoria è rappresentata da impianti che utilizzano esclusivamente aria fresca, in cui l'aria immessa viene completamente estratta dopo essere stata distribuita nei locali serviti. In questo contesto, viene

impiegata una ruota entalpica per ottimizzare il risparmio energetico. Un'alternativa meno lussuosa prevede la fornitura della portata d'aria necessaria per le persone e i servizi, con il caricamento dei carichi endogeni su apparecchiature locali, come i fan coils.

Filosofia di funzionamento

Impianti a tutt'aria esterna (Cruise, Militari, Yacht, Ricerca)

Questi impianti sono basati su diverse filosofie di “aria esterna”.

Impianti a sola percentuale di aria di ricircolo e/o a tutt'aria (Carico, Lavoro, Piattaforme petrolifere)

Gli impianti in questione sono generalmente caratterizzati da un sistema di circolazione di acqua fredda e calda, con una percentuale di ricircolo dell'aria che oscilla tra il 50% e il 70% del totale della portata d'aria. In determinate situazioni, è possibile adottare impianti a fan coil, anche in presenza di ricircolo.

Riassumendo possiamo trovarci di fronte a 4 diverse filosofie di sistema:

Sistemi al 100% di aria esterna. In sintesi, l'aria necessaria per gestire i carichi termici endogeni ed esogeni è completamente prelevata dall'esterno, con l'ausilio di uno scambiatore entalpico.

Sistemi al 100% di aria esterna ma con trattamento separato dei carichi esogeni ed endogeni. L'analisi si concentra esclusivamente sull'aria esterna necessaria per la respirazione e/o l'estrazione dell'aria, optando per la soluzione meno favorevole. I carichi esogeni ed endogeni vengono gestiti attraverso l'impiego di terminali idronici, come i fan coils. Anche questi sistemi beneficiano dell'utilizzo di recuperatori entalpici.

Sistemi ibridi a percentuale di ricircolo o a tutt'aria aria differentemente dai locali serviti. Per i locali pubblici che richiedono un elevato ricambio d'aria, si utilizzano sistemi di ventilazione con un ricircolo del 50%. Per le cabine di aria esterna, sia per il numero di persone che per l'estrazione, si impiegano fan coils specifici.²

Sistemi a percentuale di ricircolo. La percentuale può variare tra il 50% e il 70% della quota totale di aria trattata.³

² Anche questo potrebbe essere un inizio per quanto attiene alla limitazione delle emissioni, sono questi impianti che permettono un certo risparmio energetico

³ Sistemi normalmente usati su navi da trasporto merci con poco equipaggio a bordo. Vi è la tendenza a ricircolare il 70%, chiaramente se estrazioni e aria per le persone lo permettono

LA PROGETTAZIONE DI UN IMPIANTO DI CONDIZIONAMENTO

Il processo



Pianificazione tecnica

Si pianifica la durata della parte tecnica

Progettazione

Stesura del progetto

Acquisto

Si procede acquistando i macchinari output del progetto nel rispetto della specifica tecnica

Montaggio

L'ufficio tecnico sovrintende ai montaggi assieme all'organo di cantiere supportando modifiche o segnalazioni di problematiche

Commissioning

La documentazione per il commissioning viene redatta e si seguono le fasi di questa attività in cantiere, fornendo supporto adeguato.

La documentazione

Nella progettazione, è fondamentale evidenziare l'importanza di due documenti contrattuali essenziali per la realizzazione di un sistema di condizionamento navale. Questi documenti svolgono un ruolo cruciale nella definizione del sistema da progettare e fornire.

La specifica tecnico/contrattuale

Si inizia con una specifica tecnica e contrattuale del sistema di condizionamento, che sarà condivisa con il cliente o con il contraente principale per il cliente finale. Questo documento stabilisce i punti essenziali che definiranno il sistema di condizionamento.

- *Temperature ed umidità esterne/interne*
- *Tipologia del sistema di condizionamento*
- *Materiali*
- *Filosofia di funzionamento del sistema di condizionamento*

- *Obblighi delle parti⁴ per quanto alle forniture ed alle attività*
- *Scheda eventi*

La control & philosophy

Questo documento è essenziale per comprendere il funzionamento del sistema di condizionamento. Analizza in dettaglio le modalità operative, la gestione della temperatura nei vari ambienti, le caratteristiche del macchinario e le procedure di regolazione. Sarà esaminata in particolare la specifica esigenza di ciascun ambiente servito.

Es.

- *Servizio cabine*
- *Servizio locali pubblici*
- *Locali di servizio*
- *Depositi*
- *Centraline elettriche*
- *Locali server*
- *Stazioni di comando*
- *.....*

L'immagine presente nella pagina seguente si riferisce, in caso di specifiche richieste da parte del Cliente, ai documenti fondamentali che devono essere redatti nella progettazione di un sistema di condizionamento navale.

Indicati con il simbolo **1** sono i documenti dove si può incidere positivamente nell'ottimizzazione del comfort e nella riduzione delle emissioni.

⁴ Per parti si intendono il Cliente, il Prime contractor ed il fornitore.

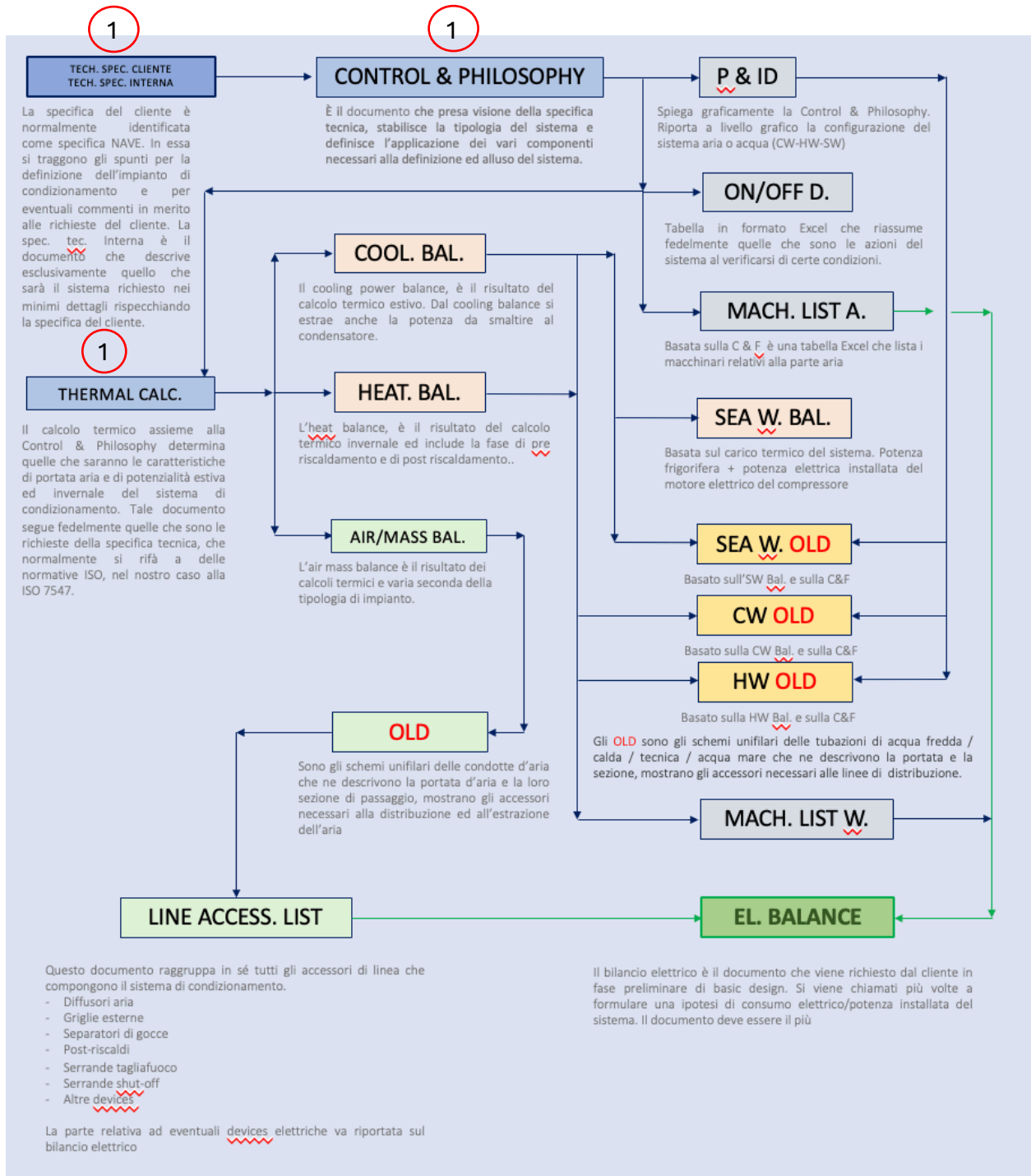


Figura 2- Diagramma dei documenti necessari per la progettazione e relazioni

PROPOSTA DI ESERCIZIO SUL CALCOLO TERMICO ESTIVO/INVERNALE

Ci concentreremo sull'analisi del calcolo termico, limitandoci a un singolo ambiente per semplificare la trattazione. Questo calcolo sarà influenzato da diverse variabili che dovranno essere considerate attentamente.

Di seguito la proposta di calcolo:

CALCOLO TERMICO

DATI DI PROGETTO

- Temperatura esterna estiva (E)	35°C
- Umidità esterna estiva	80%
- Temperatura interna estiva (I)	25°C
- Temperatura (SCO)	28°C
- Umidità relativa (SCO)	57%
- Umidità interna estiva	50%
- Temperatura esterna invernale	-5°C
- Umidità esterna invernale	50%
- Temperatura interna invernale	22°C
- Umidità interna invernale	60%
<i>(valore non usuale – di solito a bordo delle navi si utilizza un 45% invernale - ma propedeutico al calcolo del valore di «x»)</i>	
- Temperatura cucina	32°C (tutte le stagioni)
- Temperatura apparato motore	55°C (tutte le stagioni)
- Tipo di locale,	ufficio
- N° degli occupanti	5 in lavoro leggero
- Quantità di aria esterna per persona	29 m ³ /h
<i>(se non diversamente richiesto in maggiorazione dai calcoli termici)</i>	
- Dissipazioni all'interno del locale	2,5 kW
- Illuminazione	10W/m ²

Tipologia delle pareti esterne

N° 1⁵- Parete in acciaio spess. 6 mm con isolamento lana di roccia spessore 75 mm densità 80 kg /m³ ed intercapedine interna da 200 mm + pannello di arredo da 25 mm di spessore in materiale inerte. (Esterno totalmente irraggiato)

Tipologia finestre

Vetro comune 1 strato e tenda interna schermante (v. ISO 7547). Finestratura 1300 mm x 800 mm

⁵ I riferimenti alle pareti sono riportati sulle pareti stesse nell'esploso in pianta

Tipologia pareti interne

N° 2- Parete di arredo in materiale inerte dello spessore di 25 mm (corridoio) con una porta di accesso al corridoio da 2000 mm x 800 mm

N° 3- Parete in acciaio spess. 6 mm ed isolazione in lana di roccia dello spessore di 75 mm e densità 80 kg/m³ (cucina)

N° 4- Parete in acciaio verniciato intercapedine da 200 mm e pannello di arredo in materiale inerte di 25 mm (cabina)

Tipologia del ponte di calpestio

N° 5- Acciaio spessore 6 mm con caldana in malta cementizia e linoleum ed isolazione sottostante in lana di roccia dello spessore di 75 mm e densità 80 kg/m³ (apparato motore)

Tipologia del ponte a cielo

N° 6- Acciaio spessore 6 mm esposto all'esterno con isolazione in lana di roccia dello spessore di 75 mm e densità di 80 kg/m³, controsoffitto interno in lamierino spess. 0,6 mm e cuscino lana di vetro dello spessore di 25 mm. (esterno e totalmente irraggiato)

Locali interni all'ufficio

1 Toilette del volume di 5 m³ da cui verranno estratti 10 r/h compensati da aria esterna

Altezza controsoffitto 2100 mm (Le trasmissioni vanno calcolate sull'altezza totale del locale, il volume farà riferimento all'altezza del controsoffitto.

Di seguito trovate una pianta esplosa del locale in questione:

PIANTA ESPLOSA

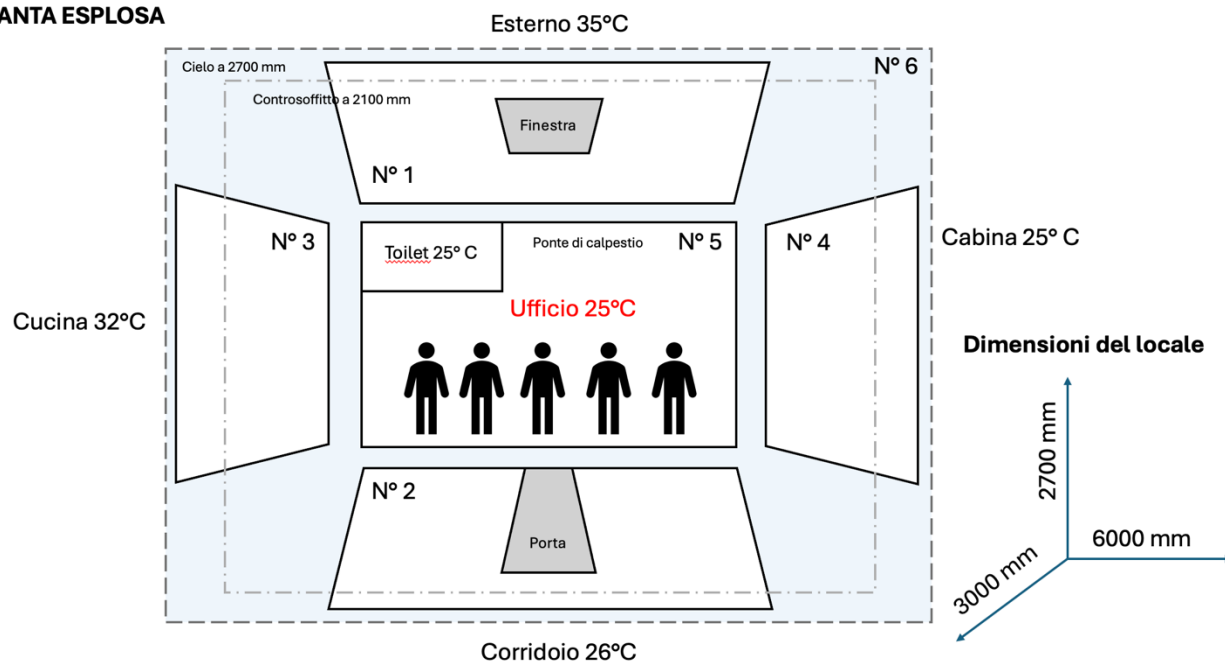


Figura 3- Pianta esplosa del locale

È probabile che abbiate acquisito parametri e informazioni riguardanti le trasmissioni, l'irraggiamento e altri elementi necessari per il calcolo termico, in conformità con la normativa ISO 7547. Il calcolo termico non richiede la determinazione delle trasmittanze di pareti o finestre, né dei valori di irraggiamento delle diverse strutture proposte, ma piuttosto l'impiego dei valori stabiliti dalla normativa ISO 7547 (si veda l'elenco delle tipologie di pareti).

Il sistema di condizionamento di questa nave sarà progettato per operare con un approvvigionamento completo di aria fresca, trattando quindi il 100% di aria esterna. È importante notare che questo tipo di impianto sarà dotato di una ruota entalpica. Tuttavia, questa specifica è parte di una discussione successiva al calcolo che verrà richiesto, pertanto non è necessario considerarla in questa fase.

Suggerimento

In un impianto a tutta aria esterna, è essenziale calcolare il volume di aria di ricambio necessario per le persone e per l'estrazione, confrontandolo con le esigenze determinate dal bilancio termico. Questo confronto consente di verificare se la portata d'aria esterna calcolata supera quella richiesta per le persone e l'estrazione. Se la portata d'aria esterna risulta insufficiente, sarà necessario adeguarla, considerando l'impatto sul carico di trattamento.

QUESITI

Determinare, per quanto relativo alla stagione estiva:

- 1) Il carico termico complessivo del locale è determinato dal trattamento dell'aria e dai carichi termici sensibili e latenti.
- 2) La quantità di aria necessaria per dissipare il carico termico globale estivo (D) comprende (A) l'eventuale sovrappressione (avanzo) necessaria per le persone (B) e per soddisfare l'estrazione della toilette (C), con la relazione $(A + B + C = D)$. È importante notare che il valore di (A) potrebbe non essere presente se la mandata, l'estrazione e la respirazione sono in equilibrio.

In caso contrario, sia (A) che (C) rappresenteranno aria "a perdere", sebbene (A), dopo essere stata estratta, venga convogliata verso un economizzatore entalpico.

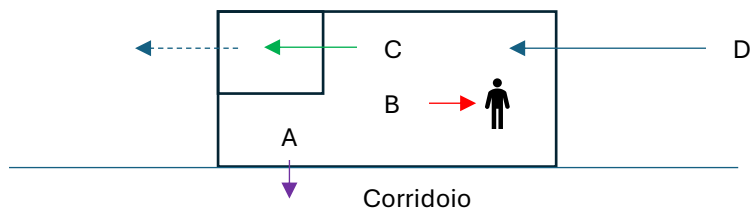


Figura 4 - Schema masse d'aria

- 3) È importante sottolineare che la quantità di aria immessa durante la fase di condizionamento invernale sarà equivalente a quella calcolata per la stagione estiva. Questo principio si applica al carico termico invernale, sia per il trattamento dell'aria che per le dissipazioni.
- 4) La quantità di vapore necessaria ogni ora per raggiungere il livello di umidità interna desiderato, dopo il riscaldamento sensibile dell'aria e il conseguente abbassamento del valore di "x".

NB Per il calcolo del carico termico invernale, si escludono le fonti favorevoli derivanti dalla trasmissione di calore da ambienti riscaldati, dalla dissipazione termica nell'aria (ad esempio, da apparecchiature elettriche o simili) e dal calore generato dalle persone.

È importante sottolineare che, ai fini del calcolo, non è necessaria l'esattezza del risultato, ma piuttosto il "processo" di esecuzione e organizzazione del calcolo stesso, insieme alla discussione finale che prevede la trasposizione dei punti di lavoro su un diagramma di Mollier. Sarà interessante rappresentare il "processo" di raffrescamento su tale diagramma, includendo la determinazione della retta ambiente, il punto dell'aria esterna (E), il punto di miscela (M) relativo alle masse d'aria esterna (E) e alla massa d'aria trattata dallo scambiatore entalpico (SC0), il punto off-coil (OC), il surriscaldamento causato dal ventilatore (2°C) con ventilatore in espirazione (SC1), il surriscaldamento dovuto al percorso dell'aria nelle condotte (2°C) (SC2), e infine il punto di immissione dell'aria nell'ambiente (I).

Grafico dei punti nell'impianto (da riportare su diagramma di Mollier)

Per garantire una maggiore chiarezza, i valori di temperatura e umidità al punto (SC0) sono rispettivamente di 28°C e 58% di umidità relativa. Inoltre, la percentuale di aria trattata dal recuperatore entalpico rispetto alla portata totale è del 50%, con la somma di (E) e (SC0) che raggiunge il 100%. Il riscaldamento sensibile dell'aria dopo il ventilatore sarà di 2°C, mentre la perdita di calore all'interno delle condotte di distribuzione dell'aria sarà anch'essa di 2°C. È importante notare che la perdita di umidità associata al riscaldamento sensibile in questi punti (SC1) e (SC2) è stata trascurata.

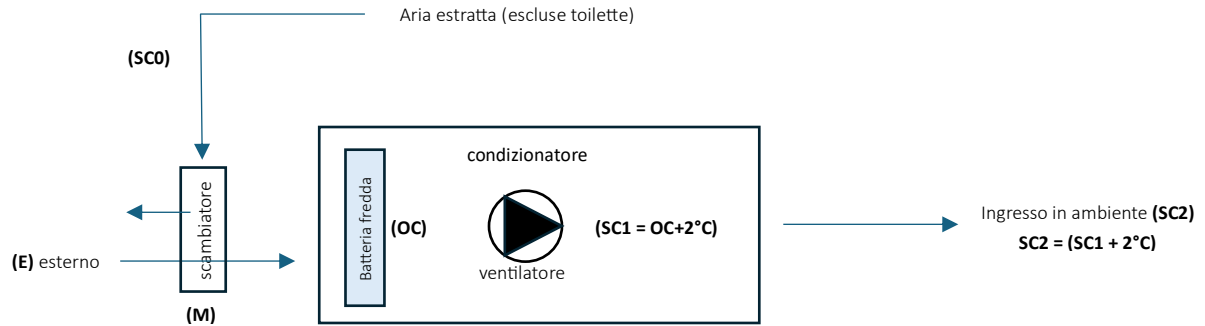


Figura 5- Schema riassuntivo dei punti di processo

ASHRAE Diagramma psicrometrico N. 1
Temperatura normale
Pressione barometrica: 101 325 Pa

©1992 American Society of Heating,
Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

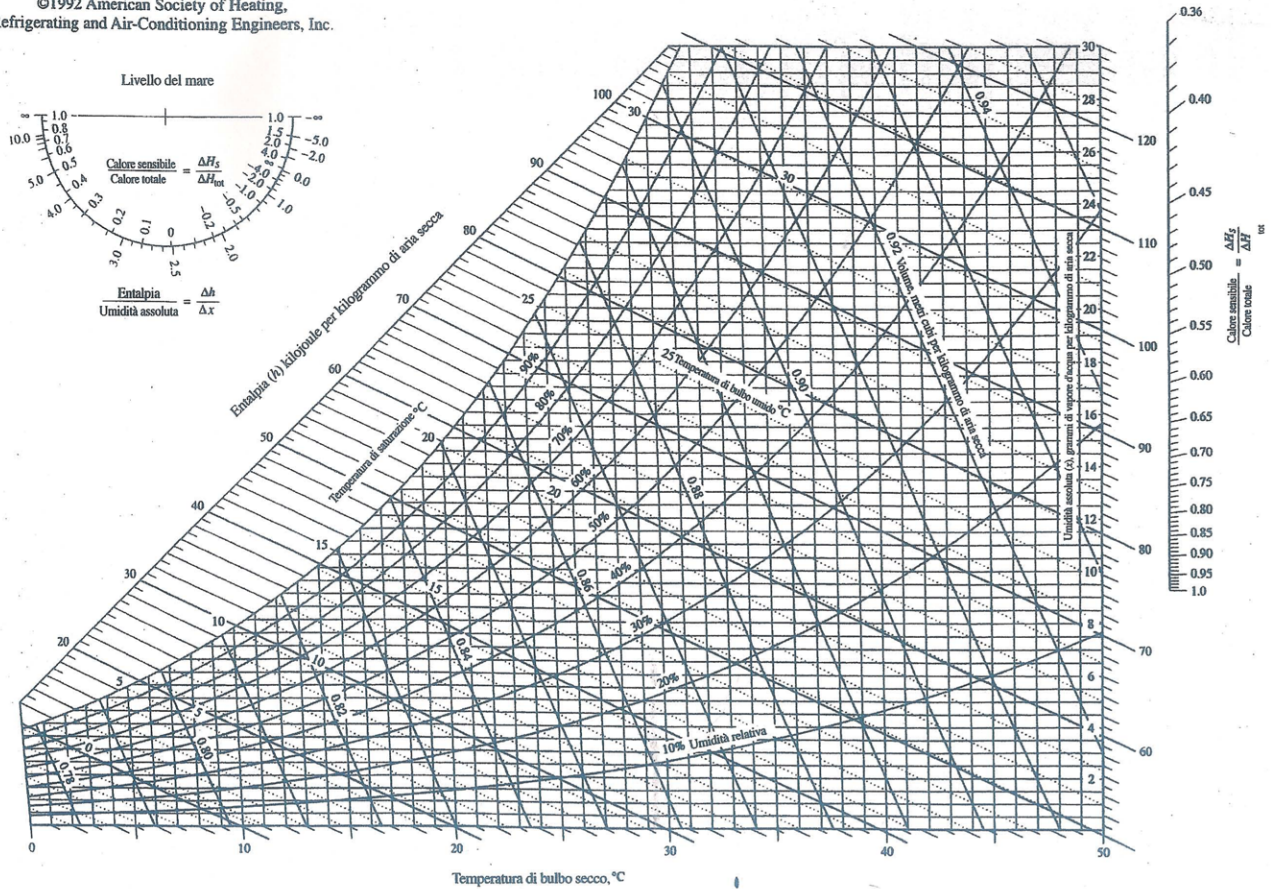


Figura 6- Diagramma ASHRAE

SOFTWARE DI CALCOLO

I software di calcolo disponibili sul mercato, sviluppati da aziende specializzate o costruttrici di impianti di condizionamento, sono numerosi, ma quelli specificamente progettati per il calcolo navale sono piuttosto rari, talvolta incompleti perché non tengono conto delle numerose variabili in gioco.

Il calcolo del carico termico in ambiente navale rappresenta un processo articolato, che richiede una rigorosa valutazione delle variabili coinvolte e un approccio metodologico strutturato. In particolare, la determinazione della quantità di aria necessaria per la dissipazione del carico termico estivo avviene mediante la scomposizione delle portate in funzione delle esigenze di sovrappressione per le persone, dell'estrazione per i servizi igienici e di eventuali altri fattori incidenti. È opportuno evidenziare che, in presenza di equilibrio tra mandata, estrazione e respirazione, alcune portate d'aria possono essere trascurate, mentre in caso contrario rappresentano inevitabilmente aria a perdere, seppure in parte recuperata tramite sistemi entalpici.

Il processo di calcolo si estende anche all'analisi del comportamento dell'aria durante il condizionamento invernale, mantenendo coerenza con le portate determinate per la stagione estiva. L'attenzione è rivolta non solo ai parametri numerici, ma soprattutto alla corretta esecuzione della procedura e alla capacità di rappresentare graficamente i punti caratteristici del ciclo termodinamico su diagrammi come quello di Mollier. La descrizione dettagliata delle fasi di raffrescamento, con l'individuazione dei punti chiave (aria esterna, miscela, off-coil, post-ventilatore, post-condotta, e immissione ambiente), costituisce un elemento essenziale per una comprensione approfondita del sistema.

La chiarezza nella rappresentazione grafica e la precisione nell'attribuzione dei valori ai singoli punti del ciclo, quali temperatura e umidità relativa, sono fondamentali per un'analisi tecnica efficace. La trascurabilità di alcune perdite di umidità, se debitamente giustificata, rientra nelle prassi accettate nella progettazione impiantistica. In questo contesto, la professionalità si esprime anche nella capacità di selezionare i parametri più significativi e di adottare un approccio critico nella valutazione delle semplificazioni operative, sempre orientate alla massima efficacia ed efficienza del sistema progettato.

Grandi aziende come Fincantieri offrono soluzioni software personalizzate in base alle esigenze e alla tipologia di impianto, mentre le aziende di dimensioni più contenute spesso ricorrono a fogli Excel per le loro necessità. Anche la divisione Militare di Fincantieri dispone di un software che soddisfa le esigenze specifiche dei sistemi per questa categoria di vascelli.

La complessità nella creazione di tali software deriva dalla necessità di gestire una vasta gamma di variabili associate agli impianti di condizionamento navale, il che rende difficile sviluppare soluzioni senza investire in software altamente sofisticati e, di conseguenza, costosi. In genere, è più comune trovare software di dimensioni ridotte che consentano lo sviluppo di componenti del sistema.

OTTIMIZZAZIONE DEGLI IMPIANTI RELATIVAMENTE AL BENESSERE



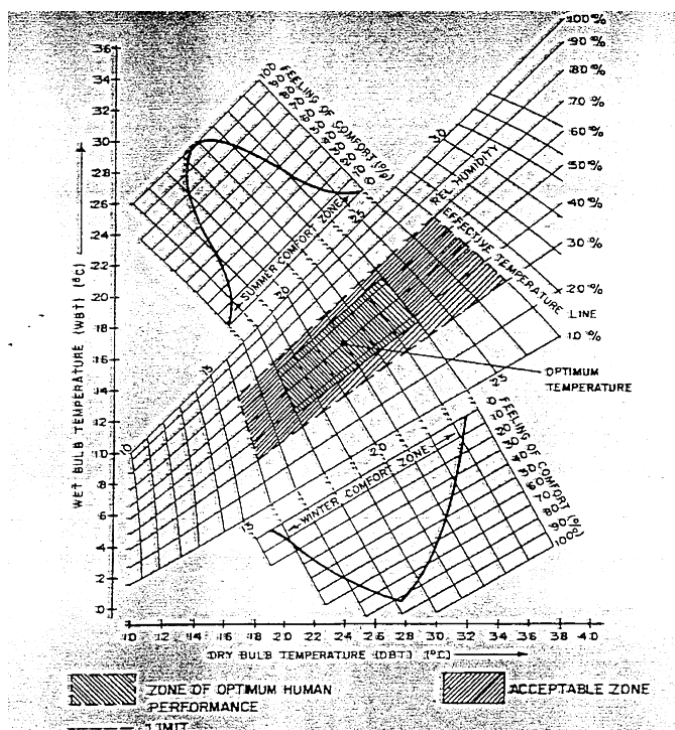
Ritenendo che i temi ISO 7547 e 7730 sia già stati da voi ampiamente sviscerati assieme al vostro insegnante, approfitterò per inserire un altro documento che sarà senz'altro utile per capire le differenze di designazione degli impianti facenti riferimento a normative diverse. La Marina Militare ha

emesso ulteriori normative volte a ottimizzare e minimizzare i consumi energetici. Nel calcolo termico delle navi, essa considera sia le normative ISO, quando applicabili e non soggette a restrizioni, sia le proprie linee guida riguardanti il gradiente temperatura/umidità e il calcolo specifico della quantità di aria esterna in relazione agli ambienti serviti. Tra queste normative, spicca l'ANEP 25, che sarà analizzata nel paragrafo successivo. Inoltre, si aggiunge alla lista dei documenti pertinenti per il dimensionamento dei criteri di benessere l'AHRAE-55, di cui si discuterà nelle pagine seguenti.

ANEP 25 (navi di superficie NATO)

ANEP-25 è una pubblicazione della NATO che fornisce linee guida per i fattori ambientali sulle navi di superficie in ambito NATO. Queste linee guida trattano diversi aspetti, tra cui l'ambiente acustico, climatico, le vibrazioni, i colori e l'illuminazione, per garantire un'esperienza ottimale. L'obiettivo principale è garantire un ambiente adeguato a prevenire danni alla salute del personale, come la

perdita dell'udito. La normativa ANEP 25 si propone di dare una guida completa anche alla



a. The amount of fresh air or - under closed down conditions - of decontaminated air introduced by the ventilation shall keep gases, vapours, dust and fumes within the limits specified in national regulations. The ventilation system must be designed so that gases which have been produced in the ship (e.g. narcotic gases in ship's hospital) and air coming from specific spaces can be carried off through the system.

b. The CO₂ concentration must not exceed the following limits:

- (1) in combat-significant operational spaces 0.15%; $13 \text{ m}^3/\text{R}$
- (2) in berthing and living spaces 0.15%; $13 \text{ m}^3/\text{R}$
- (3) in messrooms 0.25%; $9 \text{ m}^3/\text{R}$
- (4) in workshops, where heavy physical work is done for a short time, 0.5%. $4 \text{ m}^3/\text{R}$

c. The amount of fresh air necessary to meet the above specifications can be calculated for permanently closed down systems using the formula in Figure 2.

$$\text{FAV} = \text{BAV} \cdot n \cdot \frac{a}{b_2 - b_1} \quad [\text{m}^3]$$

BAV = Breathing Air Volume
 Resting = 0.50 m³/Person x h
 Light work = 0.75 " " "
 Work = 1.25 " " "
 n = Crew
 a = CO₂ generation during breathing = 4%
 b₁ = CO₂ content of fresh air = 0.03%
 b₂ = CO₂ concentration in the space in %

b.-limits:

In Combat - significant spaces = 0.15%; in resting - compartments = 0.15%; in messrooms = 0.25%; in workshops, where heavy physical work is done for a short time = 0.5%

FIGURE 2

definizione dei sistemi di condizionamento e

a. The amount of fresh air or - under closed down conditions - of decontaminated air introduced by the ventilation shall keep gases, vapours, dust and fumes within the limits specified in national regulations. The ventilation system must be designed so that gases which have been produced in the ship (e.g. narcotic gases in ship's hospital) and air coming from specific spaces can be carried off through the system.

The CO₂ concentration must not exceed the following limits:

- (1) in combat-significant operational spaces 0.15%; *13 m³/R*
- (2) in berthing and living spaces 0.15%; *13 m³/R*
- (3) in messrooms 0.25%; *9 m³/R*
- (4) in workshops, where heavy physical work is done for a short time, 0.5%. *4 m³/R*

c. The amount of fresh air necessary to meet the above specifications can be calculated for permanently closed down systems using the formula in Figure 2.

$$FAV = BAV - n \cdot \frac{a}{b_2 - b_1} \quad [m^3]$$

BAV = Breathing Air Volume n = Crew
 Resting = 0.50 m³/Person x h a = CO₂ generation during breathing = 4%
 Light work = 0.75 " " " b₁ = CO₂ content of fresh air = 0.03%
 Work = 1.25 " " " b₂ = CO₂ concentration in the space in %

b.-limits:

In Combat - significant spaces = 0.15%; in resting - compartments = 0.15%; in messrooms = 0.25%; in workshops, where heavy physical work is done for a short time = 0.5%

FIGURE 2

risparmio energetico.

Nell'immagine successiva sono presentate le normative riguardanti la regolazione della temperatura a bordo. Si sottolinea che, per determinati ambienti, non è obbligatorio mantenere una temperatura costante; tuttavia, sono definiti valori minimi e massimi di temperatura che devono essere rispettati.

Appare chiaro che queste regole e prescrizioni si sommano ad altre a completamento di quello che è il raggiungimento del comfort a bordo, non solo il controllo ed il mantenimento della temperatura e dell'umidità sono importanti, ma sarà altrettanto importante tenere in considerazione altri fattori che

Temperature Limits in Spaces Occupied By Personnel if not included in the Air-conditioning System

Name of Space	Upper Limit DBT (°C)	Lower Limit DBT (°C)
Machinery spaces (occupied by personnel)	40(1)	10
Workshops	35	15
Heads	36	15
Sanitary Spaces	30...36	24
Galleys	30...36	15
Pantries, Sculleries	30...36	15
Laundry	30...36	15
Store Room	36	10...15
Ship's Hospital (2)	28	20
Other Living and Working Spaces (2)	28	20

(1) Not manned continuously

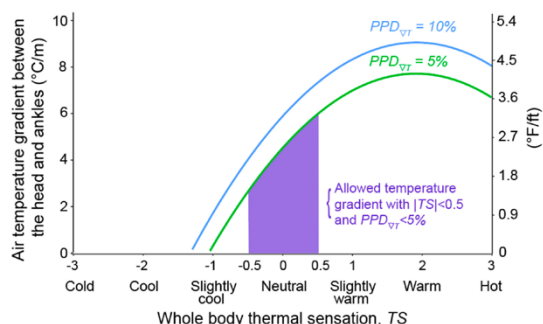
(2) In cases when living and working spaces (except for high heat producing spaces) and the ship's hospital cannot be air-conditioned air cooling devices have to be provided

e. Air discharge must not be directed on personnel. At all places occupied by personnel the air velocity shall be in conformance with the limits given in paragraph 2.3 c. In spaces where the temperature exceeds 28 degrees centigrade the air velocity may be raised; the maximum is 0.33 m/sec.

ventilazione/estrazione meccanica a bordo di questa tipologia di nave. Emblematico il grafico a lato che cura la definizione del benessere a bordo della nave basandosi su percentili statistici di gradiente relativi alle persone, sia per il condizionamento estivo che per quello invernale. Va inoltre richiamata l'attenzione sul fatto che nell'immagine seguente troviamo anche le disposizioni di questo documento, atte a determinare, attraverso l'applicazione di un'equazione, la quantità di aria esterna necessaria ad ogni tipologia di locale.

La riduzione della quantità di aria esterna è una conseguenza delle restrizioni spaziali a bordo, finalizzata all'ottimizzazione del

concorrono all'ottenimento del comfort a bordo quale la "stratificazione" della temperatura all'interno dei locali serviti. Anche nella trattazione di questo argomento abbiamo diversi contributi da ASHRAE, ma anche da Enti di Classifica come



il DNV⁶ (Det Norske Veritas) con il suo documento Intitolato "Comfort Class". II

⁶ Ente di classifica norvegese

presente documento analizza in modo approfondito i fattori che influenzano il comfort a bordo, considerando aspetti quali la quantità di aria fresca fornita, la stratificazione della temperatura negli ambienti serviti da aria condizionata e l'ottimizzazione della velocità dell'aria all'interno degli spazi. Inoltre, vengono illustrate diverse categorie di comfort in relazione ai vari tipi di nave.

OTTIMIZZAZIONE DEGLI IMPIANTI RELATIVAMENTE ALLE EMISSIONI

Si dovrebbe proporre di rivedere alcuni parametri a bordo delle navi da diporto, alla luce di calcoli semplici ma efficaci, per garantire il benessere degli occupanti. Attualmente, molte società armatoriali mantengono temperature interne eccessive, come 21°C, anche in presenza di condizioni esterne di 45°C. Questa prassi non solo risulta in uno spreco energetico significativo, ma non apporta benefici né in termini di comfort né di efficienza energetica. Un valore più appropriato sarebbe 25°C, specialmente per le navi da passeggeri e gli yacht.

È fondamentale comprendere che elevate prestazioni con temperature estremamente basse non sempre corrispondono a un ambiente confortevole. Sarebbe quindi necessario implementare normative che stabiliscano temperature più ragionevoli. È evidente il potenziale di miglioramento in termini di consumi e benessere, attraverso l'adozione di semplici accorgimenti basati sulla fisiologia umana. Ad esempio, il consumo energetico di una persona seduta è di 1,2 kCal/kg/h, il che si traduce in 84 kCal/h per un individuo di 70 kg.

Nell'immagine allegata, si illustra chiaramente quali siano le condizioni ottimali di comfort in un ambiente climatizzato, secondo lo standard ASHRAE-55.

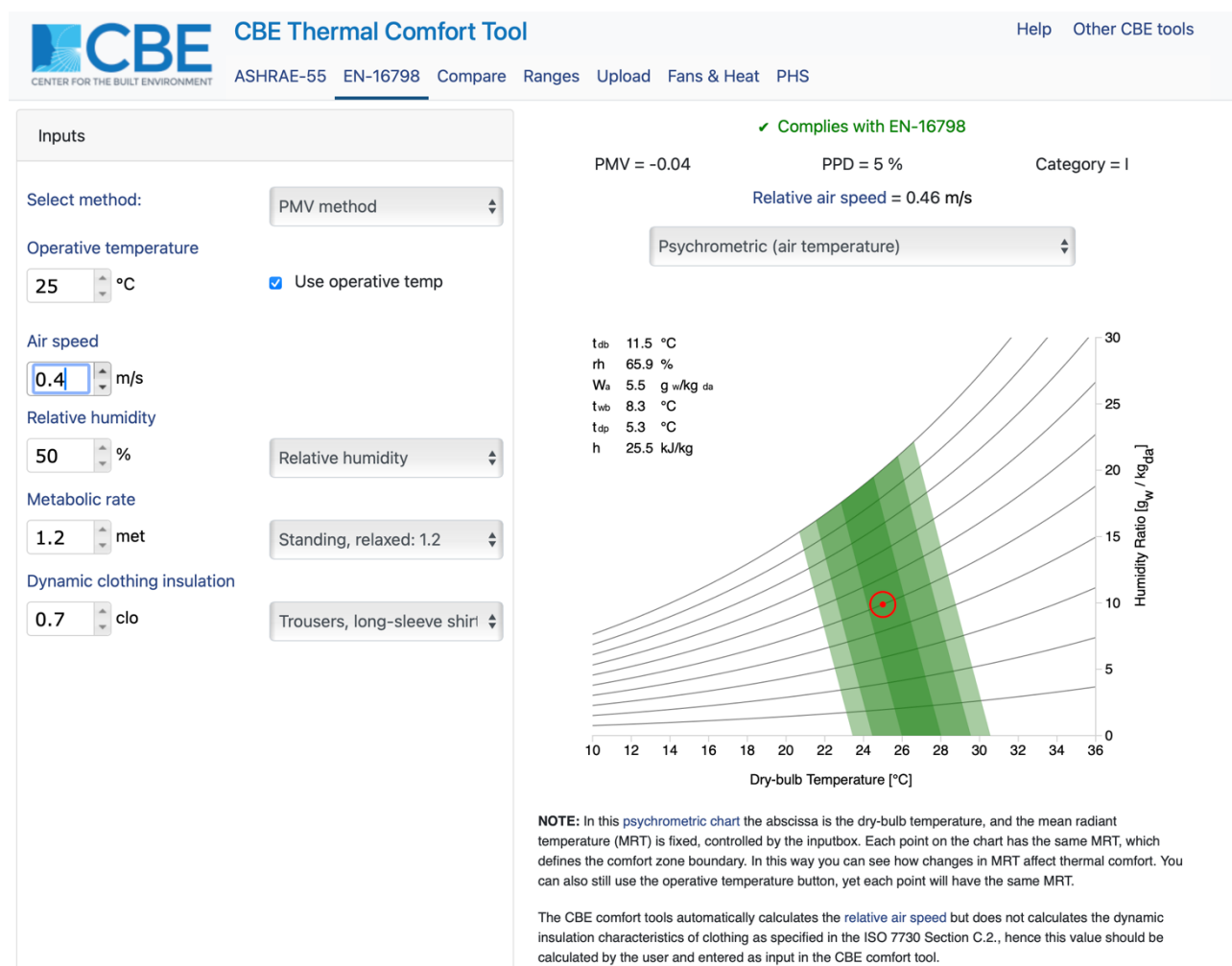


Figura 8- Esempio calcolo benessere ambiente secondo ASHRAE 55

Richiamando i parametri precedentemente proposti, si evidenzia che l'intento di presentare una bassa temperatura interna come sinonimo di benessere potrebbe risultare inadeguato. Infatti, la percezione del comfort a bordo in tali condizioni termiche è destinata a discostarsi dai parametri di gradimento relativi alla climatizzazione interna. Inoltre, tale scelta comporterebbe un incremento dei consumi energetici.

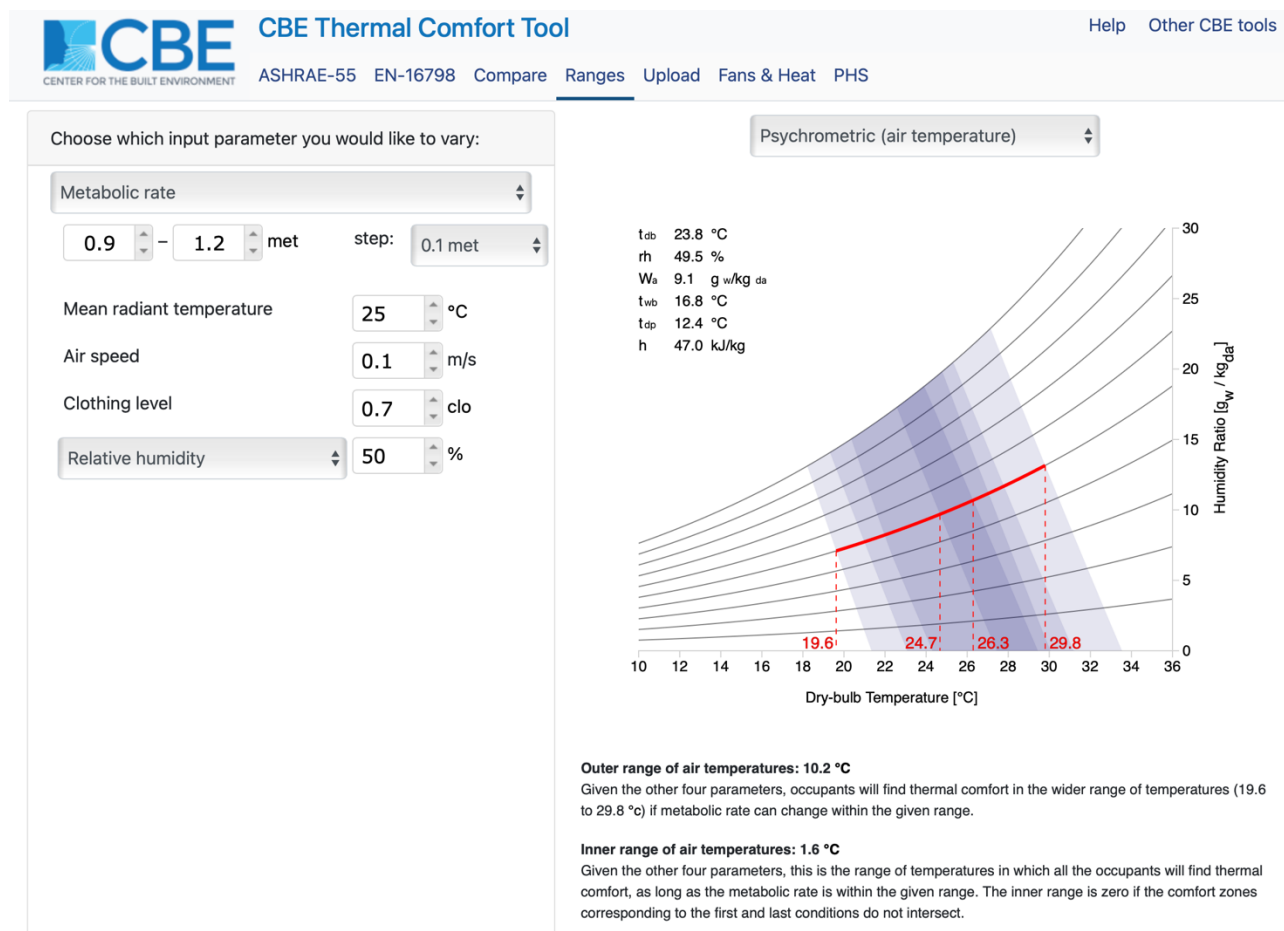
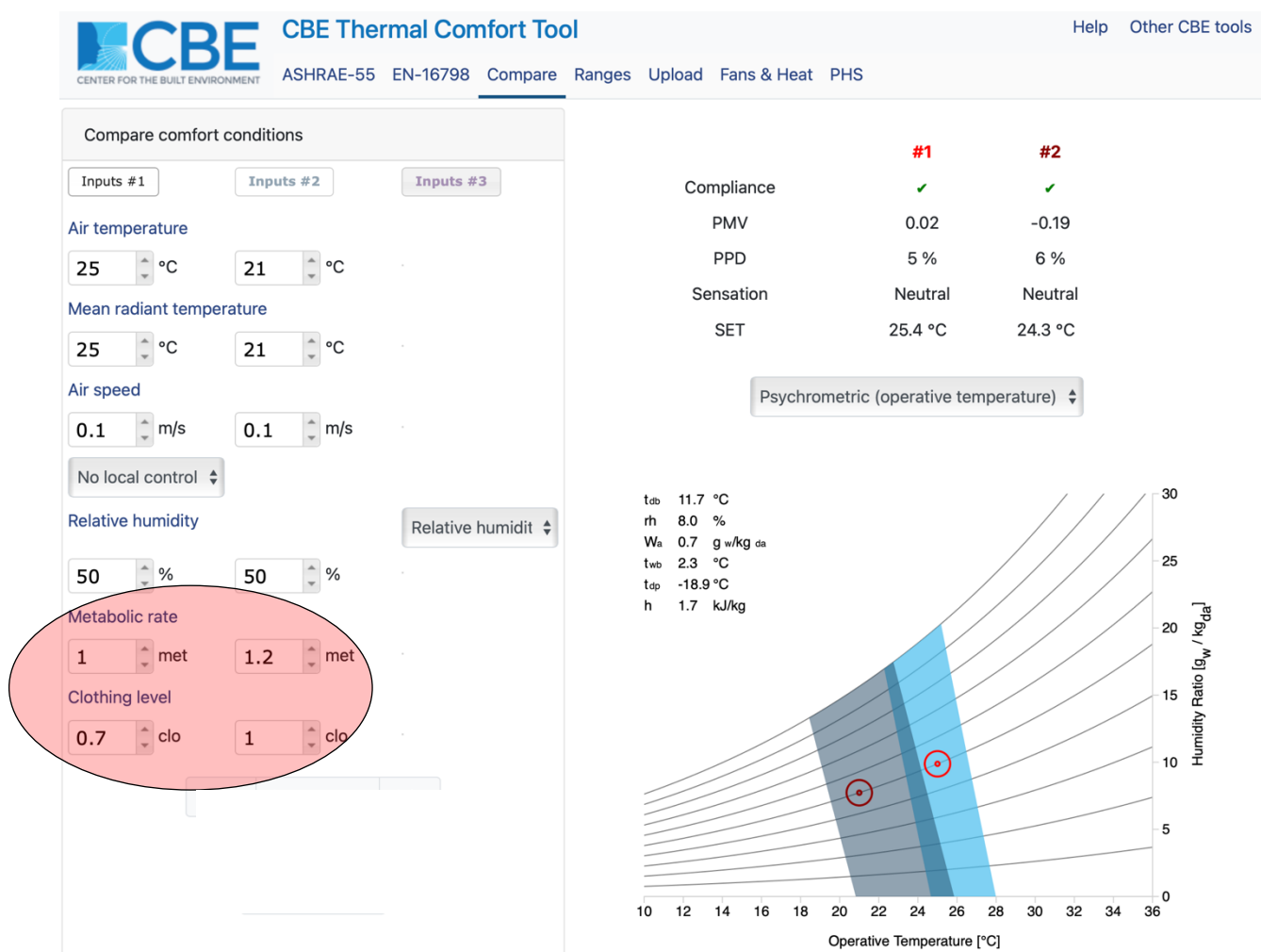


Figura 9- Range temperatura ottimale basato su movimento e indumenti

Nella definizione di comfort, è fondamentale considerare variabili quali la velocità dell'aria, la temperatura e l'umidità interna, il tipo di abbigliamento indossato, il valore metabolico (MET) degli individui e, infine, il loro stato di attività.

L'immagine seguente illustra chiaramente la differenza tra una condizione ottimale (25 °C – 50 % UR) e una condizione estrema (21 °C – 50 % UR).

Si evidenzia un significativo divario tra i valori del "metabolic rate" e del "clothing level". Questi risultati indicano che, a parità di velocità dell'aria, è necessario prevedere una temperatura più bassa per individui con un elevato tasso di emissione e abbigliamento più pesante.

Figura 10- Comparazione diverse temperature in ambiente⁷

L'analisi del grafico evidenzia l'importanza del "metabolic rate" e del "clothing level", mostrando una differenza significativa tra Inputs#1 e Inputs#2. Si ritiene che Inputs#1 rappresenti la condizione più naturale a bordo di una nave da diporto, considerando sia il livello di attività degli occupanti che il tipo di abbigliamento tipico delle vacanze.

L'ottimizzazione dei sistemi di condizionamento manuale, sebbene sia all'avanguardia, è soggetta alla discrezione e alla volontà delle compagnie armatoriali, poiché tali interventi comportano costi elevati e richiedono un'analisi del ROI (Return on Investment). Anche se il progettista, con le migliori intenzioni, può suggerire diverse strategie per migliorare l'efficienza operativa e ridurre le emissioni, la decisione finale spetta al cliente, in base alle proprie "SUE" considerazioni.

La sensibilità delle compagnie armatoriali, nonostante l'impegno dichiarato verso la riduzione delle emissioni, è messa in evidenza nella tabella sottostante.

⁷ Vediamo dalla tabella quale sia la differenza tra due condizioni interne, una improntata su quelli che sono i parametri metabolici di gradimento della temperatura ed una improntata su una richiesta non propriamente ragionevole.

Di seguito presentiamo un'analisi dei diversi interventi attuabili per il contenimento delle emissioni, nonché la potenziale accettazione di tali misure da parte delle compagnie armatoriali.

Prog.	Azione	Tipo	Valore ai fini del target Da 5 a 10	Accettazione da parte delle compagnie	Motivo
1	Monitoraggio delle condizioni ambientali e relativa regolazione chillers	Progetto/Gestione	10	si	Risparmio economico derivante dall'ottimizzazione del funzionamento dei chillers
2	Interventi sullo spessore dei materiali coibenti interno/esterno	Progetto/Costruzione	10	no	Costo economico, aumento dell'esponente di carico con aggravio dei consumi
3	Interventi sulla tipologia dei vetri esterni	Progetto/Costruzione	10	no	Costo economico, aumento dell'esponente di carico con aggravio dei consumi
4	Ottimizzazione delle temperature contrattuali interne	Progetto	10	Con difficoltà	Scopi commerciali, le persone che partecipano alle crociere (specialmente negli USA) chiedono temperature interne proibitive
5	Utilizzo motori elettrici a basso attrito	Progetto	7	si	Il costo dell'implementazione è esiguo e facilmente ammortabile
6	Calcolo dell'occupancy e gestione delle temperature all'interno dei locali serviti	Progetto/Gestione	9	Con difficoltà	Costo economico
7	Automazione cabine basata sull'occupancy e cambio della filosofia di funzionamento a cabina non occupata	Progetto	8	Con difficoltà	Costi, scetticismo e aumento del costo di manutenzione del sistema
8	Rilievo della percentuale di CO ₂ all'interno dei locali pubblici per la gestione del trattamento dell'aria esterna a seconda dell'occupancy	Progetto/Gestione	9	si	Il costo dell'implementazione è esiguo e facilmente ammortabile
9	Funzionamento del sistema di condizionamento, considerando l'ottimizzazione del servizio all'interno dei locali energivori quali Cucine e Lavanderie. (temperature e portate d'aria)	Progetto/Gestione	8	si	Il costo è esiguo in quanto l'implementazione è fattibile modificando il sistema di automazione del sistema di condizionamento
10	Utilizzo di gas "green"	Progetto/Gestione	7	si	Il green gas presuppone anche un aumento del consumo elettrico data la performance inferiore ai gas sino ad ora usati. Purtroppo al momento non si è sicuri della completa efficacia "green" di questi gas.

Figura 11- Azioni per ottimizzazione e reazioni alle proposte

Il grafico confronta la situazione attuale con quella proposta su grandezze stimate. Le ottimizzazioni (linea rossa) aumentano comfort e spese, mentre il RISPARMIO ANNUALE (-0,4) porta a benefici continui su consumi ed emissioni. Nei prossimi 5 anni, i dati raccolti serviranno per uno studio ROI che calcolerà il risparmio netto, considerando costi iniziali ed emissioni evitate.

Ottimizzazione = - emissioni	Costruzione = - emissioni	Gestione = - emissioni
Comfort = + aumenta vista la regolazione	Spesa = + alla costruzione (unica) + Gestione agg.	Economia = + annuale
Gas = - emissioni + consumi		

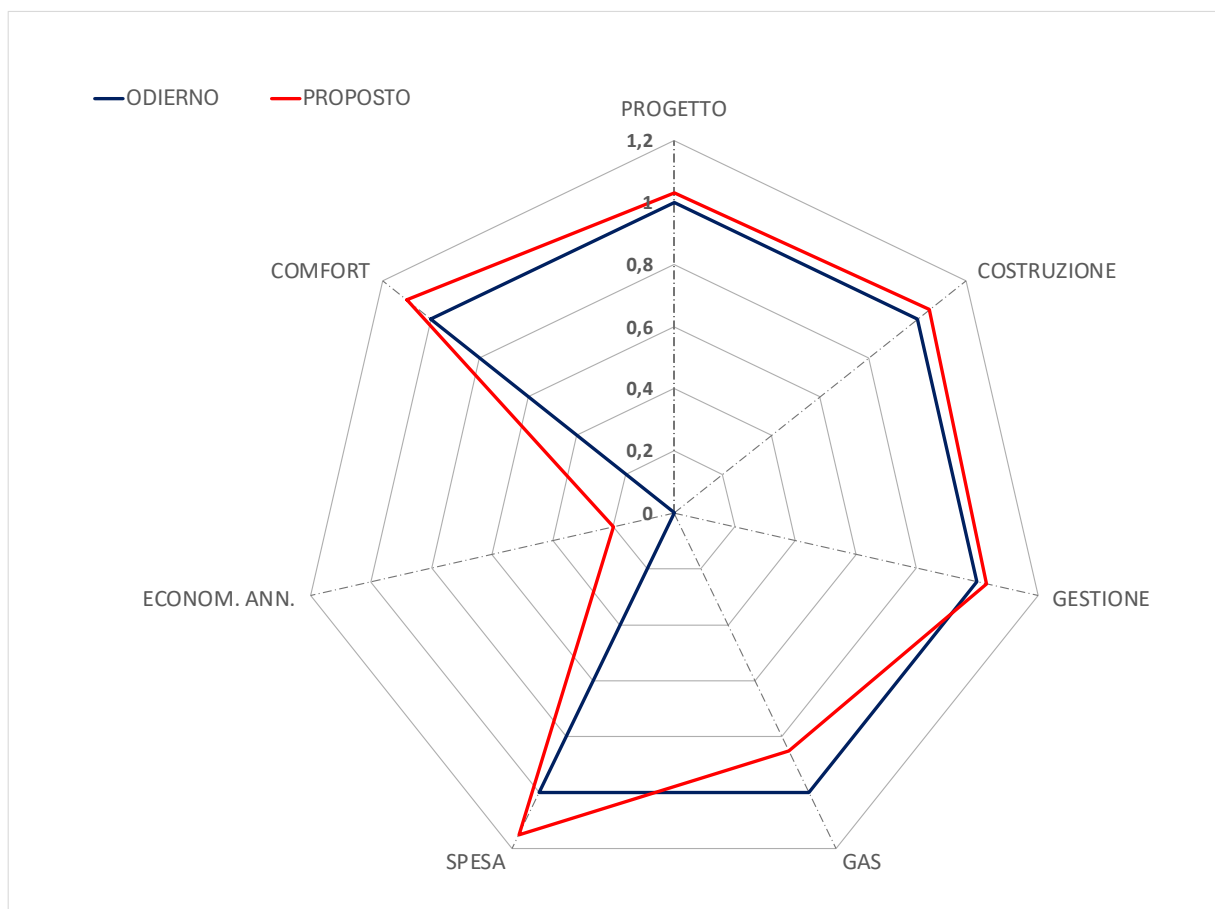


Figura 12- Comparazione fra situazione attuale ed eventuale ottimizzazione

L'idea che viene proposta dal grafico di pagina precedente può essere riassunta in:

progettazione oculata + comfort + attenzione nella gestione = **minori emissioni**

ROI

Il ROI, o Return on Investment, è un indicatore di performance fondamentale per valutare l'efficacia di un investimento. In termini più formali, il ROI quantifica il rendimento generato in relazione al costo sostenuto per l'investimento, fornendo così una misura chiara della redditività.

Tuttavia, è importante ricordare che questo calcolo deve includere anche una componente di "imponderabili" che è intrinseca a ogni progetto.

Formula del ROI

La formula base per calcolare il ROI è:

$$\text{ROI} = \frac{\text{Guadagno inv.} - \text{Costo inv.} - \text{Imponderabili}}{\text{Costo inv.} + \text{Imponderabili}^8} \times 100$$

Importanza del ROI

Il ROI è uno strumento fondamentale per le aziende e gli investitori perché:

- *Valuta la redditività, aiuta a determinare se un investimento vale la pena.*
- *Confronta investimenti, permette di confrontare la redditività di diversi investimenti.*
- *Supporta decisioni finanziarie, fornisce un criterio chiaro per prendere decisioni informate.*

Limiti del ROI

Nonostante la sua utilità, il ROI presenta anche alcuni limiti:

- *Non considera il fattore tempo, quindi due investimenti con lo stesso ROI ma durata diversa potrebbero avere implicazioni diverse, ma questo può essere ovviato inserendo diverse variabili stimate*
- *Alcuni costi indiretti potrebbero non essere presi in considerazione⁹.*

⁸ Va da sé che gli "imponderabili" devono essere basati sulla statistica o su una eventuale presunzione di questa spesa

⁹ Ci sono dei costi imponderabili dovuti a imprevisti o altro che normalmente ricadono nel "rate" finale del ROI, a tale scopo è corretto inserire una quota percentuale di questi imprevisti nel calcolo del ROI.

AZIONI

In fase di progetto e costruzione della nave

- 1) Analisi delle variazioni giornaliere stagionali delle condizioni ambientali, finalizzata alla gestione automatizzata del sistema di climatizzazione e all'ottimizzazione delle prestazioni dei chiller, in relazione alla posizione geografica della nave.

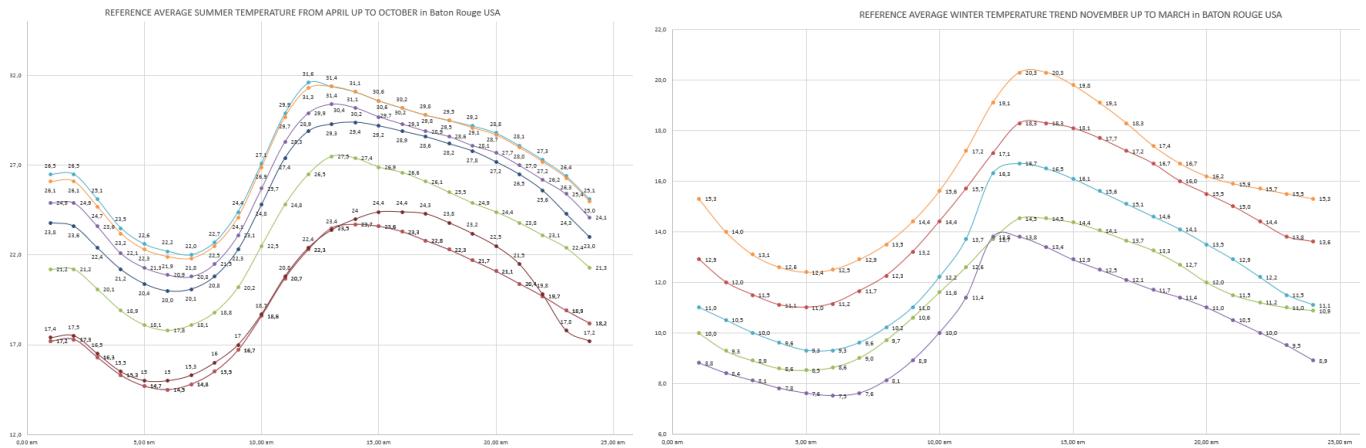


Figura 13- Andamento delle temperature estive, autunnali, invernali e primaverili dei luoghi o delle rotte considerati per il calcolo

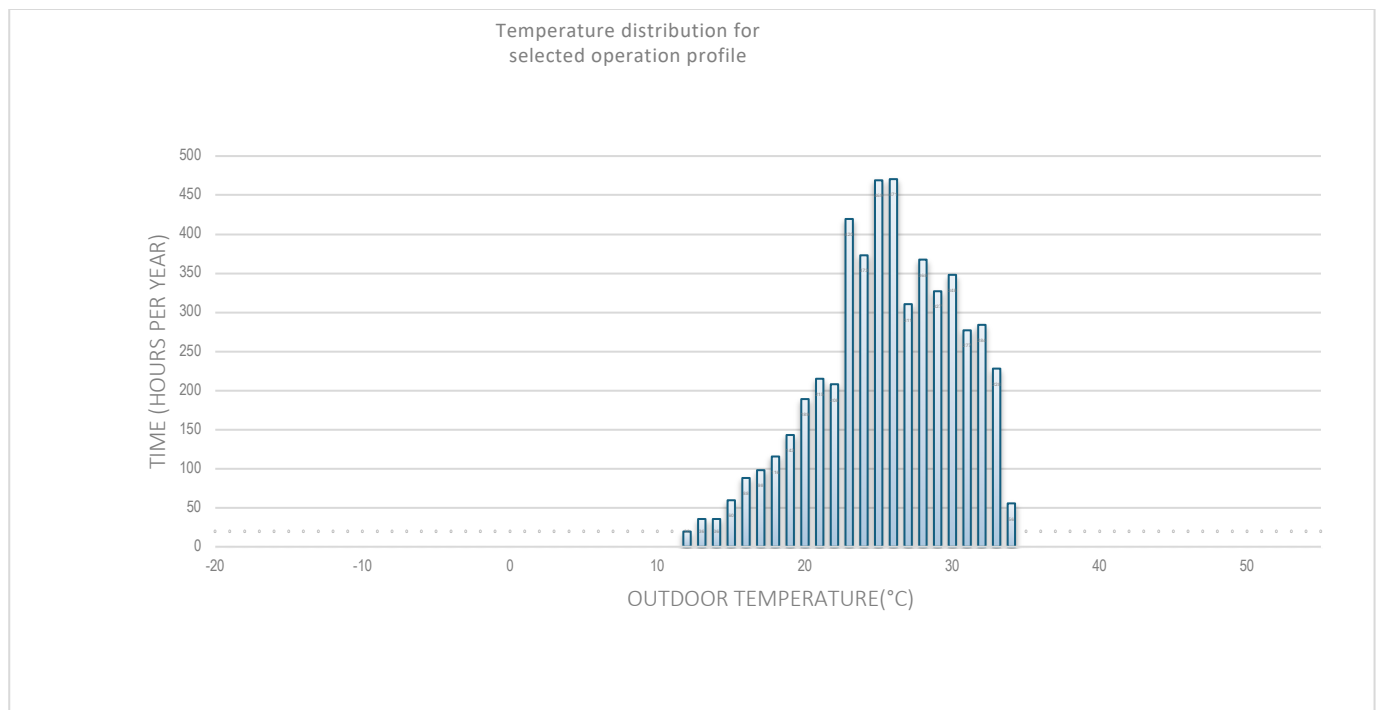


Figura 14- ore di funzionamento annuali alla temperatura esterna

La tipologia del chiller riveste un ruolo cruciale nell'ottimizzazione delle emissioni, come evidenziato dall'immagine seguente che illustra le differenze. Inoltre, una gestione intelligente del funzionamento di questi macchinari rappresenta un ulteriore vantaggio.

Input			Original	eVent	New 2	New 3
Technical cooling (temp independ)	0	kW	0	0		
Technical cooling (temp depend)	2400	kW	2.400	2.400		
Cooling capacity for AHUs	0	kW		0		
Total cooling capacity (100%)	2.400	kW	2.400	2.400		
Number of Chillers	2	-	2	2		
Capacity each chiller	50	%	50	50		
EER for chiller	5,5	-	3,2	5,5		
Operation time per day	24	h	24	24		
Operation time per year	365	days	365	365		
Result			Screw Centr			
Energy cost	268.377	EUR/year	461.273	268.377		
Energy consumption	1.490.982	kWh / year	2.562.625	1.490.982		
Generator load	436	kW	750	436		
CO2 production	962	Tonn / year	1.653	962		
Savings			Saving/y			
Energy cost saving	-	EUR/year	192.896	-	-	192.896
CO2 savings	-	Tonn year	691	-	-	691
Extra investment	-	EUR	0	-	-	0
Pay back time	-	Years	0,00	-	-	0,00
Life time savings (years)	20	-	3.857.915	-	-	3.857.915
Life time savings (years)	20	-	13.827	-	-	13.827

Figura 15- Tavola di comparazione fra gestione con automazione normale ed automazione evoluta "eVent" della Società Novenco (DK)



Figura 16- Particolare di fissaggio isolamento a paratia

- 2) Interventi sull'isolazione termica delle pareti interne ed esterne, operando un aumento dello spessore dell'isolante o trovando nuovi materiali coibenti anche più leggeri.
- 3) Interventi sulle vetrate utilizzando materiali o organizzazione di oggetti composti (multicamera anche riempite di gas) che abbassino la trasmittanza. In questo caso ci troviamo di fronte ad un aumento degli esponenti di carico e della parte economica relativa alla fornitura delle finestrate.

- 4) Interventi sulle temperature interne contrattuali (ci troviamo talvolta di fronte a richieste quasi impossibili che non depongono a favore dell'utilizzo oculato dell'energia). Per esempio, senza dover menzionare la temperatura esterna, in quanto diamo per scontato di attuare la condizione 1), talvolta le temperature interne richieste sono proibitive (21°C). Acquisire impianti altamente confortevoli non implica necessariamente la progettazione di sistemi che operano a temperature interne estremamente basse. In genere, la temperatura che risulta più gradita per la maggior parte delle persone si attesta intorno ai 24°C/25°C. Un differenziale di 3°C/4°C a bordo di una nave passeggeri, che gestisce un volume d'aria considerevole, può comportare un significativo risparmio energetico, misurabile in kilowatt o addirittura megawatt su base giornaliera.
- 5) Utilizzo di gas verdi, seppure con un modesto aumento dei consumi
- 6) Utilizzo di motori elettrici a basso attrito
- 7) Calcolo dell'occupancy di tutti i locali, sia spazi pubblici, di servizio ed individuali (cabine), per la gestione della quantità di aria esterna.

Es.

Cabine: nel momento in cui in una cabina non vi è occupazione, non vi è alcuno scopo di fornire alla cabina aria esterna come nemmeno estrazione di aria nel locale igiene. Per cui se facciamo due conti veloci:

- Persone 2
- Quantità di aria per persona $29 \text{ m}^3/\text{h}$
- Quantità di aria totale $58 \text{ m}^3/\text{h}$
- Assenza delle persone dalla cabina giornaliera 12^{10} ore (?)

Si deduce che, nell'arco della giornata, l'aria non trattata ammonta a 696 m^3 per cabina. Considerando una media di circa 1.700 cabine passeggeri, possiamo stabilire che il volume di aria risparmiato giornalmente per ciascuna cabina è di 600 m^3 . Pertanto, il calcolo risulta in 1.700 cabine moltiplicato per 600 m^3 , diviso per 24 ore, il che porta a un totale di $42.500 \text{ m}^3/\text{h}$. Questo valore deve essere ulteriormente moltiplicato per il salto entalpico di trattamento.

INPUT	Temp. DB [°C]	RH [%]	Entalpia [kJ/Kg]	X [g/Kg]	Mass [kg/m³]	DEW [°C]	Heat [kJ/Kg]	Temp. WB [°C]
Outside summer/winter temperature ° C	28	60%	64,8	0,01387	1,17	19,5	15,48	22,17
Offcoil summer/winter temperature ° C	12	99%	33,8	0,00850	1,24	11,8	8,06	11,94

Q tot	42.500
-------	--------

kW
453,86

Figura 17 – Calcolo relativo al risparmio estivo

Si sta considerando un risparmio energetico post-economizzatore (ruota entalpica) di circa 450 kW/h in termini di energia fredda. In un ciclo di funzionamento di 24 ore, si prevede teoricamente un risparmio elettrico, calcolato con un COP dei chiller di 4,5, pari a $450 \text{ kW/h} \times 24 \text{ ore} / \text{COP } 4,5 = 2,4 \text{ MW}$. È importante notare che questa stima non include il consumo energetico degli spazi pubblici o altre utenze associate all'impianto.

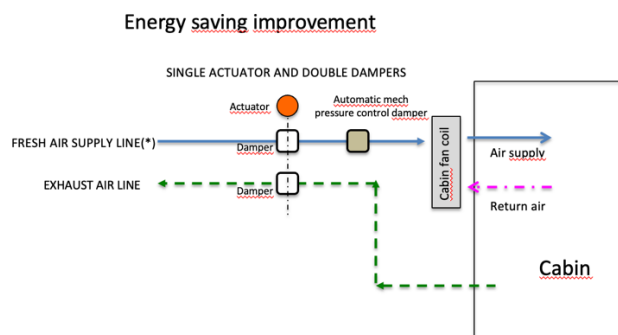


Figura 18- Esempio di suggerimento per risparmio energetico

¹⁰ Dato medio che può variare a seconda della tipologia della nave e delle attività che vengono svolte, normalmente può essere richiesto alla società armatrice

In merito ai locali pubblici, attualmente si sta approfondendo l'approccio per monitorare l'afflusso delle presenze all'interno degli spazi di vita pubblica. Si stanno esplorando soluzioni innovative come telecamere intelligenti e dispositivi mobili dedicati.

- 8) Miglioramento delle isolazioni delle tubolature di conduzione di acqua refrigerata e calda del sistema di condizionamento
- 9) Gestione intelligente (esistente) dell'apertura delle porte di balconata in relazione con lo stop del sistema di condizionamento all'interno delle cabine
- 10) Considerazione attenta a quelli che sono i livelli di CO₂ all'interno dei locali pubblici, basandosi su sensori e conteggio dell'occupancy¹¹, ricavando ad esempio quanto segue nell'illustrazione



Figura 19- Grafico di riferimento per percentuali di CO₂

- 11) Assunzione degli orari di funzionamento delle cucine e delle lavanderie per ottimizzare l'output di potenza frigorifera basato anche sulla fase di presenza delle persone fuori dalle cabine ma all'interno del ristorante.

A suo tempo ci siamo cimentati nella definizione di queste fasi estrapolando quello che era il consumo massimo dell'impianto, basandoci su dati pervenuti direttamente dal "bordo".

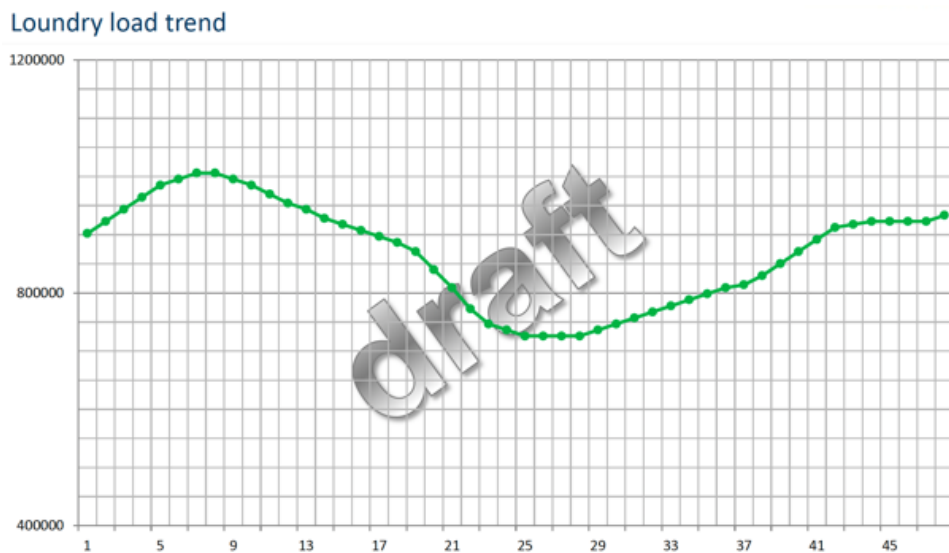


Figura 20- Andamento dei carichi endogeno lavanderia nelle 24 h

¹¹ Non solo per mezzo di sensori relativi alla saturazione del CO₂ ma anche con sistemi più evoluti relativi a telecamere "contapersone" che fornirebbero in tempo reale il fabbisogno di aria esterna dell'ambiente reso in esame.

Galleys trend

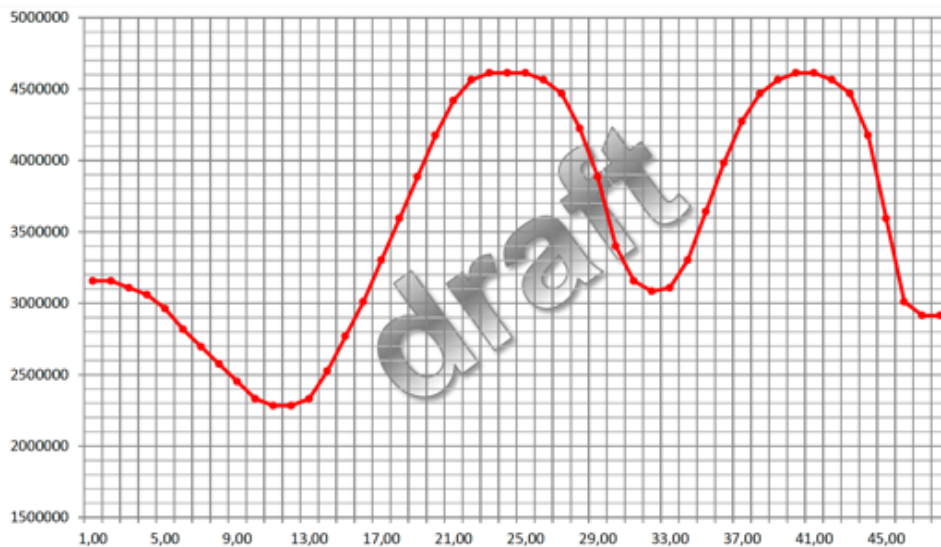
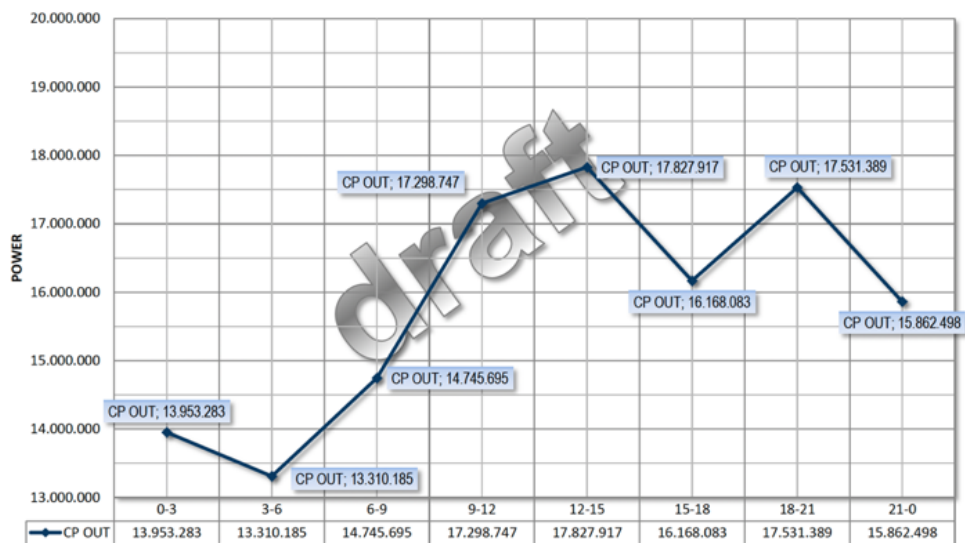


Figura 21- Andamento dei carichi endogeni cucine nelle 24 h

CP OUT - TROPIC 35° C 80% RH NIGHT AND DAY AT SEA TREND



CP = cooling power in Watts

Figura 22- Andamento giornaliero output potenzialità frigorifera¹²

- 12) Miglioramenti necessari al sistema di automazione dell'impianto di condizionamento per ottimizzare le emissioni. In sintesi, si propone di applicare una regolazione più precisa rispetto a quella attualmente in uso. Di solito, si tratta di sistemi SCADA che gestiscono graficamente le funzioni operative. Inoltre, un'implementazione dello stato di salute dei componenti principali sarebbe vantaggiosa, includendo il funzionamento dei motori elettrici, la pulizia dei filtri di circolazione dell'acqua refrigerata e lo stato dei filtri dell'aria.
- 13) Il miglioramento degli accessori di regolazione contribuisce positivamente all'efficienza dei macchinari per la circolazione dell'acqua, come le pompe, riducendo anche il consumo energetico.

¹² Riferito alla giornata passata in mare senza alcuna sosta in banchina. Con sosta in banchina, durante l'escursione si registra un notevole calo della richiesta frigorifera. Non sono in ballo solo i carichi delle persone, ma anche quelle dei servizi cui le persone assenti non adiscono. Luci delle cabine spente, minore affluenza nei locali pubblici e di servizio,

Le immagini che seguono offrono un'idea chiara di come il cambiamento nella tipologia di valvole di regolazione del flusso dell'acqua calda e fredda possa influenzare l'efficienza del sistema. Passando da valvole modulanti o deviatrici a 3 vie a valvole a 2 vie "pressure independent", sarà possibile ottimizzare la regolazione della temperatura, riducendo i picchi e, soprattutto, il consumo delle pompe di circolazione.

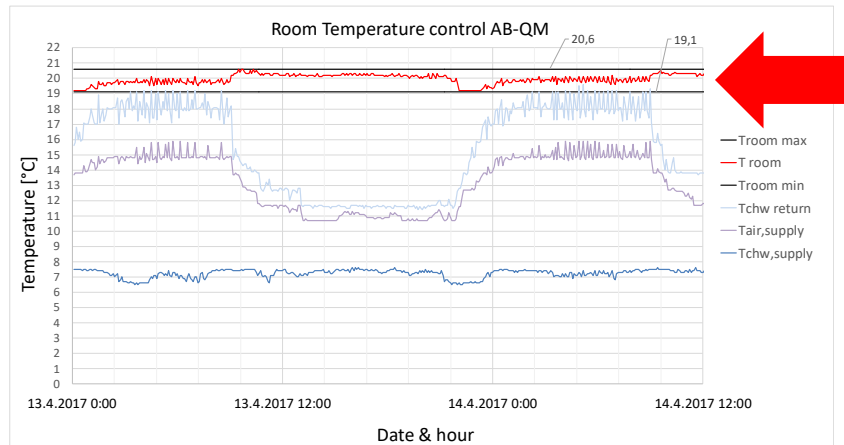


Figura 24 - Funzionamento con valvole a 2 vie

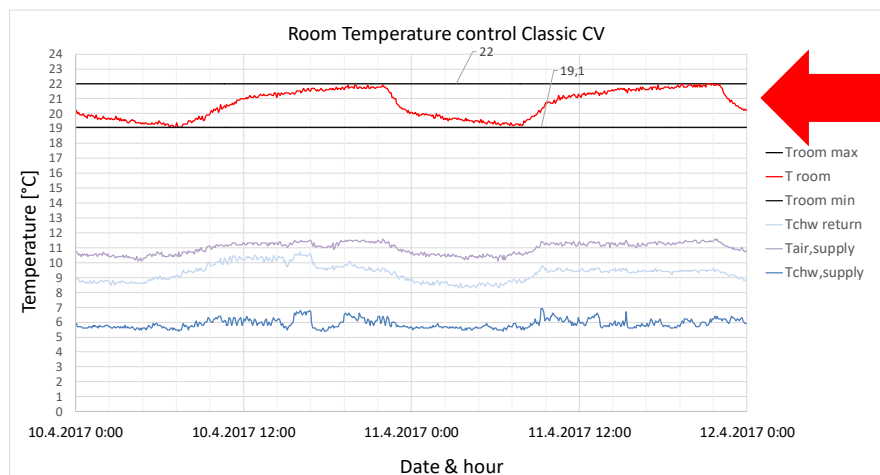


Figura 23 – Funzionamento con valvole tradizionali a 3 vie

Nelle immagini precedenti, la banda evidenziata in rosso illustra chiaramente l'ottimizzazione del processo. Le immagini successive mostrano invece il miglioramento apportato dall'uso delle nuove valvole a 2 vie nelle pompe di circolazione.

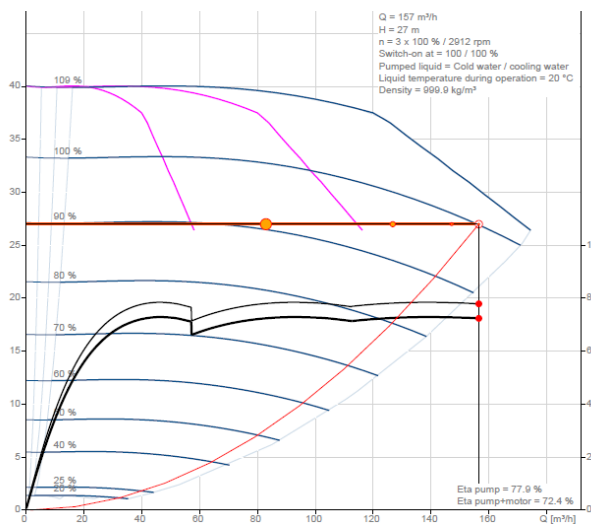


Figura 25- Funzionamento delle pompe con valvole 3 vie

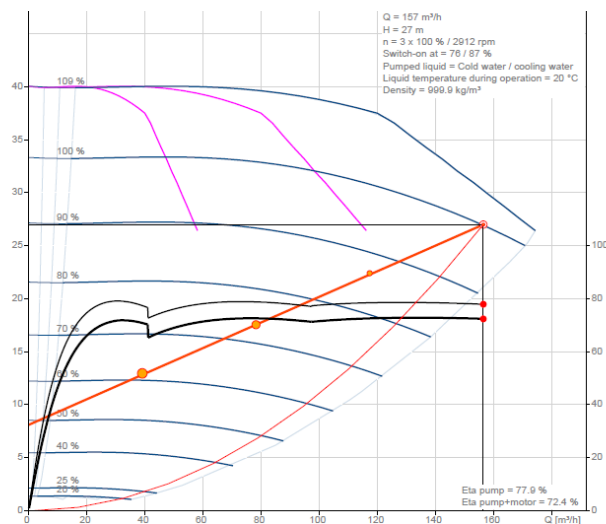
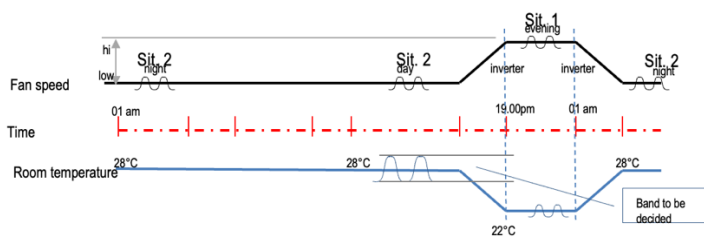
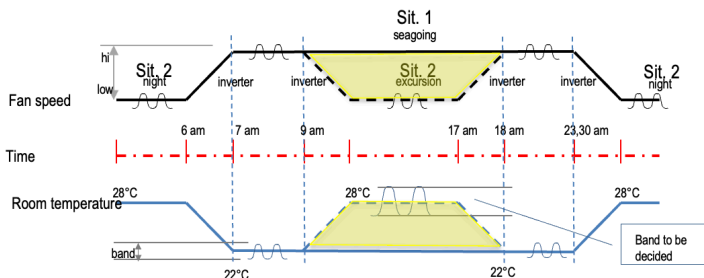
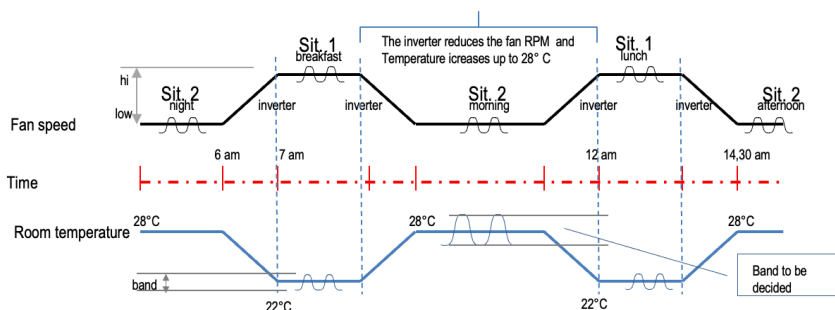


Figura 26- Funzionamento delle pompe con valvole 2 vie

In fase di gestione del sistema di condizionamento durante la navigazione o la sosta in banchina

- 1) La gestione del sistema di oscuramento¹³ interno è fondamentale per ridurre l'effetto dell'irraggiamento. Tuttavia, non sempre è presente un personale attento a garantire questa funzione. Anche se i carichi di irraggiamento sono considerati nel calcolo termico, limitare questo apporto esterno può portare a significativi risparmi energetici. Una riduzione di 240 W/m², anche se parziale, rappresenterebbe un notevole vantaggio economico.
- 2) Gestione efficiente attraverso la modulazione delle temperature interne, come illustrato di seguito, utilizzando un sistema di automazione adeguatamente programmato:

Teatro*Scale**Ristoranti*

¹³ L'irraggiamento a bordo di una nave passeggeri ricca di superfici trasparenti costituisce grossa parte del carico esogeno

La gestione delle fasi di temperatura interna nei vari ambienti serviti dal sistema di condizionamento potrebbe generare significative ottimizzazioni, con un impatto positivo sulle emissioni. I risparmi, sia in termini economici per la Società Armatoriale che in relazione alle emissioni, non devono essere sottovalutati. Tuttavia, l'aspetto economico e l'investimento iniziale spesso non favoriscono l'implementazione di tali misure, nonostante possano essere recuperati attraverso un'analisi del ROI.

3) Gestione attenta dello spostamento/assenza dei passeggeri nella giornata devono essere tenute in considerazione già in fase di calcolo e prese in carico nel documento Control & Philosophy di cui alle pagine precedenti:

- *Fasi di affollamento dei ristoranti*
- *Presenze di persone nelle escursioni e quindi “carico termico” mancante a bordo*
- *Presenze delle persone nei diversi locali durante le soste e la navigazione e quindi distribuzione del “carico termico”*

NON SOLO CONDIZIONAMENTO

In ambito navale, il concetto di "condizionamento" si estende oltre la mera climatizzazione. Esso implica un sistema complesso che comprende non solo il controllo della temperatura, ma anche la ventilazione dei motori e di altri spazi di servizio. Tali sistemi sono gestiti esclusivamente attraverso ventilazione meccanica e sono conformi a vari standard ISO.

- Ventilazione apparato motore
- Ventilazione spazi da carico
- Ventilazione locali di servizio
- Ventilazione centrali di controllo propulsione
-

In un sistema di ventilazione meccanica per un apparato motore, si osserva che la ventilazione è composta da diversi ventilatori. Attualmente, per ottimizzare i consumi energetici e ridurre le emissioni, questi ventilatori sono equipaggiati con convertitori di frequenza e sistemi di automazione avanzati, che operano in funzione di sensori di temperatura interna e pressostati differenziali di pressione, questi ultimi per venire incontro alle normative. Il calcolo della ventilazione in un sistema di questo tipo, applicabile a qualsiasi tipo di nave, si basa su normative ISO che forniscono formule specifiche per la determinazione delle emissioni e degli irraggiamenti interni.

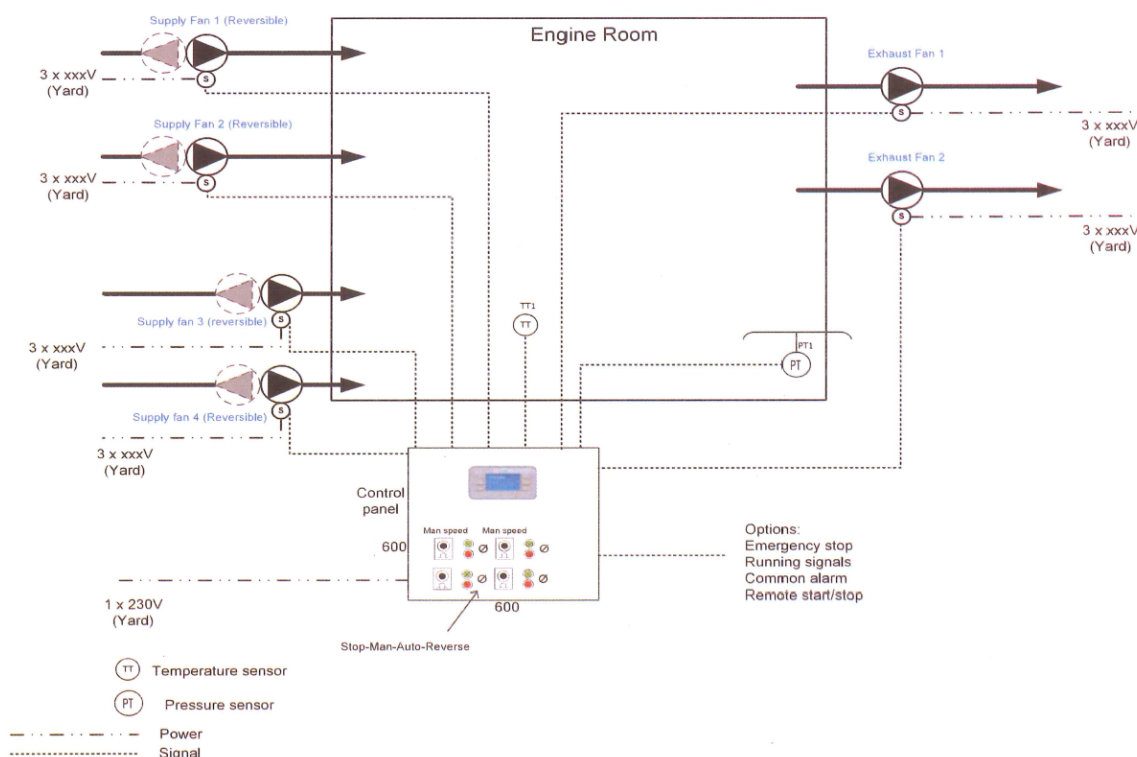


Figura 27- Sistema di ventilazione apparato motore

Il calcolo ISO per la ventilazione AM

Il calcolo delle masse d'aria necessario per il raffreddamento del motore è basato sulla normativa ISO 8861. Si tratta di un'analisi approfondita riguardante il “contenuto” dell'apparato motore stesso.

Bisogna essere in possesso di diversi dati per procedere ad un calcolo ISO.

- *Temperatura esterna massima da specifica tecnico/contrattuale*
- *Temperatura interna (definita da ISO 10°C e 12.5°C superiore a quella esterna)*
- *Dissipazioni dei motori principali e dei diesel generatori e degli scarichi gas*
- *Superfici radianti non solo dei motori ma anche degli scarichi dei gas*
- *Dissipazioni dei macchinari presenti nell'apparato motore*
- *Quantità dell'aria comburente necessaria ai motori di propulsione*

Tutti questi dati vengono usati per il calcolo delle masse d'aria necessarie ed impattano sul sistema di automazione per la gestione della temperatura all'interno del locale apparato motore.

SOLAS (Safety Of Life At Sea)

La Convenzione Internazionale per la Salvaguardia della Vita Umana in Mare (SOLAS) è uno degli accordi fondamentali per garantire la sicurezza della navigazione mercantile. Adottata per la prima volta nel 1974, essa stabilisce standard minimi per la costruzione, l'equipaggiamento e il funzionamento delle navi, con l'obiettivo primario di proteggere la vita umana in mare. La convenzione, insieme ai suoi emendamenti periodici, viene presa in considerazione durante la designazione del sistema di condizionamento, sia nel corso che dopo l'esecuzione del calcolo termico.

Il presente documento delinea le normative che devono essere attentamente esaminate durante la revisione dei documenti di progetto da parte degli Enti di Classifica, quali R.I.Na, DNV, ABS, e altri. Ogni Ente di Classifica esercita la propria discrezionalità nell'applicazione delle regole SOLAS, apportando modifiche che possono influenzare positivamente o negativamente la loro attuazione.



Figura 28- Esempio di isolamento termica e/o tagliafuoco

Le normative relative ai sistemi di condizionamento si concentrano principalmente sulla sicurezza e sulla mitigazione dei rischi di incendio e della sua propagazione a bordo delle navi. Un sistema di condizionamento, caratterizzato da molteplici vie di propagazione degli incendi, come condotte, travasi d'aria e prese d'aria, presenta potenziali pericoli e, di conseguenza, è soggetto a normative rigorose riguardanti il servizio nei vari ambienti.

Per la realizzazione degli impianti di condizionamento, è essenziale utilizzare diversi strumenti, tra cui serrande tagliafuoco, isolamenti tagliafuoco e un posizionamento strategico delle aperture per l'aria e degli scarichi in aree non a rischio. Il settore della prevenzione incendi a bordo delle navi è vasto, e l'impatto di tali misure sul budget del progetto è significativo. Ad esempio, una nave passeggeri può necessitare di quasi un migliaio di serrande tagliafuoco, complete di un sistema di automazione dedicato.

Le normative forniscono una guida completa per la progettazione dei sistemi di condizionamento, considerando attentamente le aree di rischio stabilite dalla compartimentazione della nave.

Mitigazione dei virus a bordo delle navi

Nonostante le opinioni divergenti, una soluzione che preveda l'eliminazione totale del virus a bordo delle navi non è realizzabile e non lo sarà mai basti pensare alla propagazione delle malattie da raffreddamento (adenovirus che possiede una blanda propagazione) durante una crociera data da contatto di superfici ad alta frequenza di toccata (corrimano, maniglie, ...) su 4500 passeggeri viene calcolato un contagio di 150-250 persone nell'ambito della durata della crociera. Nel caso di COVID in 7 giorni si potrebbe assistere ad un contagio 10 volte maggiore. È possibile, tuttavia, limitare la sua diffusione. Tuttavia, la presenza di una grande quantità di persone e il conseguente inevitabile contatto diretto o indiretto non favoriscono il successo delle diverse misure che possono essere adottate.

Teniamo presente a questo proposito che la diversità delle tipologie dei locali a bordo definisce le azioni da intraprendere. Per fare un esempio, le cabine dovrebbero essere isolate, i locali pubblici non dovrebbero essere praticati e non solo anche i servizi, quali ascensori non dovrebbero essere usati. Eventuali bilanciamenti d'aria dalle cabine ai corridoi dovrebbero essere accecati, e così via, senza comunque addivenire ad una eliminazione del virus e dei contagi.

La parola chiave cui “tutti” si sono sentiti di ricorrere è “MITIGAZIONE”!

La convenzione SOLAS, in collaborazione con le principali aziende fornitrici e appaltatori, ha affrontato la sfida di ridurre l'impatto dei virus a bordo delle navi passeggeri, attingendo a esperienze pregresse. È fondamentale sottolineare che tali interventi sono orientati esclusivamente a contenere la diffusione dei virus a bordo, poiché la completa eliminazione non è praticabile a causa delle molteplici variabili coinvolte. Pertanto, l'unico approccio praticabile è quello della mitigazione.

Le azioni da intraprendere comprendono l'adozione di misure igieniche e profilattiche, come il lavaggio e la disinfezione delle mani prima di interagire con superfici condivise, che possono già generare risultati significativi. Inoltre, è opportuno implementare interventi tecnici, quali l'installazione di lampade germicide per il trattamento dell'aria estratta che passerà attraverso gli scambiatori di calore, accompagnati da una gestione attenta delle presenze nei luoghi pubblici.

A parte le azioni che possono essere condotte verso le persone ed il loro movimento, quarantene e limitazione della mobilità, di seguito, un semplice schema chiarisce quale potrebbe un essere un approccio valido nel trattamento dell'aria in questo contesto:

Parallelamente a quanto detto relativamente le azioni verso la parte umana, è opportuno prevedere interventi di natura tecnica, come l'installazione di lampade germicide dedicate al trattamento dell'aria estratta, la quale verrà successivamente convogliata attraverso gli scambiatori di calore, nonché una gestione scrupolosa dei flussi di presenza nelle aree comuni.

Oltre alle misure indirizzate al comportamento individuale — quali la regolamentazione degli spostamenti, l'introduzione di periodi di quarantena e la limitazione della mobilità umana a bordo — si propone di seguito una sintesi schematica di un possibile approccio strutturato per il trattamento dell'aria in questo specifico contesto:

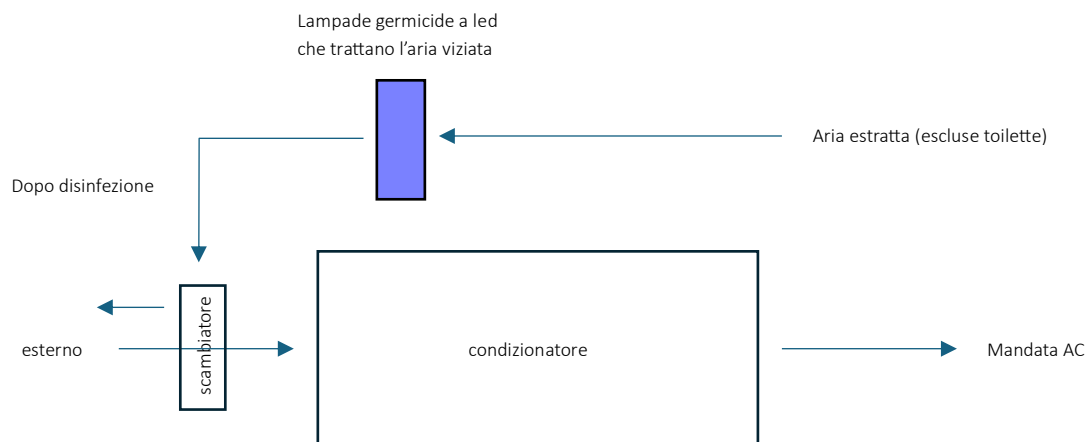


Figura 29- Processo per la mitigazione dei virus negli impianti di condizionamento

Come ben noto, gli ambienti umidi e freddi favoriscono la proliferazione del virus. Pertanto, si potrebbe considerare l'inserimento di lampade UV all'interno dei condizionatori. La risposta a questa proposta è piuttosto semplice, poiché esistono diversi aspetti che facilitano il processo di bonifica.

- *L'aria esterna è ritenuta pulita, quindi non necessita di alcun intervento quindi le lampade all'interno dei condizionatori non trovano collocazione...*
- *L'aria viziata estratta dai locali che deve essere trattata mediante uno scambiatore entalpico, deve essere sottoposta ad una radiazione luminosa di una certa frequenza. Il raggio d'azione delle emissioni luminose determina dimensioni specifiche per le condotte d'aria; superate tali dimensioni, sarà necessario aumentare l'emissione luminosa. Inoltre, le condotte devono essere progettate con caratteristiche specifiche per garantire un flusso stabile e privo di turbolenze, al fine di ridurre la presenza di virus. Pertanto, l'aria che entra nel condizionatore può essere considerata in gran parte "pulita", rendendo superfluo l'aggiunta di ulteriore "luce" all'interno del condizionatore.*
- *Le lampade UV¹⁴ della frequenza considerata producono ozono (O₃), che è dannoso per la salute, a differenza delle lampade a LED che non generano questa sostanza.*

14

UV-C (200–280 nm)

È la banda più efficace per inattivare virus e batteri. A circa 254 nm, lampade germicide possono distruggere l'RNA del SARS-CoV-2 in pochi minuti. Non è presente nella luce solare al suolo perché viene assorbita dall'atmosfera. È utilizzata in ospedali, laboratori e sistemi di sanificazione, ma non può essere impiegata direttamente su persone perché danneggia pelle e occhi.

UV-B (280–315 nm)

Presente nella luce solare.

Ha un effetto inattivante, ma più lento rispetto a UV-C.

Studi hanno mostrato che in estate, con esposizione diretta, il virus su superfici può essere inattivato in 30 minuti circa A B.

UV-A (315–400 nm)

È la componente più abbondante della luce solare. Ha un effetto più debole, ma contribuisce comunque alla degradazione del virus nel tempo.

Luce visibile (es. blu 405 nm):

Alcuni studi su LED blu hanno mostrato capacità di ridurre la carica virale, ma l'efficacia è molto inferiore rispetto agli UV-C. Può essere usata come supporto in sistemi di sanificazione sicuri per l'uomo.

Oltre a sottolineare che questi accorgimenti non sono esaustivi nell'eliminazione del virus, è importante considerare che, nel singolo caso, stiamo solo mettendo una "pezza" a un problema, ma al contempo aumentiamo le emissioni. Esaminiamo la situazione, dove noteremo un certo incremento di quello che diventerà il nuovo consumo del sistema.

- *Aggiungendo lampade germicide con un potenziale elettrico adeguato, aumentiamo i consumi della nave.*
- *Incrementiamo la temperatura dell'aria di ritorno, il che comporta una maggiore richiesta di energia frigorifera per mantenere le condizioni contrattuali. Studi condotti indicano che l'uso di questa tipologia di lampade provoca un surriscaldamento della massa d'aria trattata, basato su una portata totale di circa 3.200 m³/h, di 1,19 °C.*

Nella definizione dei sistemi di condizionamento navale e nell'implementazione di eventuali miglioramenti, è essenziale tenere in considerazione che le soluzioni adottate possono generare effetti collaterali indesiderati, talvolta imprevisti.

Bibliografia

- *ASHRAE Hand-book 2011 - Application*
- *ASHRAE Fundamentals 2009*
- <https://comfort.cbe.berkeley.edu>
- *NATO international staff defence support division*
ANEP-25 Guideline for environmental factors in NATO surface ships
- *ISO 7547*
- *ISO 8661*
- *SOLAS*
- *ISO 21500:2021 - Gestione dei progetti, dei programmi e del portfolio - Contesto e concetti:*
- *ISO 21502:2020 - Gestione dei progetti - Terminologia*
- *ISO 10006:2017 - Gestione della qualità - Linee guida per la gestione della qualità nei progetti*
- *ISO 31000:2018 - Gestione del rischio - Principi e linee guida*