

TECHNICAL NOTES

**La simulazione fluidodinamica come
strumento di analisi della climatizzazione
delle degenze ospedaliere**

A. BOECHE, A. CAVALLINI, R. ZECCHIN



La portata e la distribuzione dell'aria all'interno di una camera di degenza sono fattori di grande importanza nella progettazione dell'impianto di climatizzazione, soprattutto in considerazione delle odierne esigenze di controllo della qualità ambientale. Riguardo a questi temi l'attuale normativa italiana è piuttosto datata, poiché fa riferimento alla circolare Ministeriale 13011 del 1974, riguardante i soli aspetti fisico-tecnici degli edifici ospedalieri, che indica una portata minima di aria di rinnovo pari a 2 vol/h, valore peraltro confermato dal recente specifico decreto sui Criteri Ambientali Minimi (i cosiddetti CAM).

L'attuale tendenza progettuale, anche a seguito delle richieste di varie direzioni sanitarie pur prima della recente pandemia, è orientata su valori superiori, pari a 3 vol/h (peraltro compatibili con le prescrizioni finalizzate alla certificazione LEED) o anche di più. La normativa americana ASHRAE per le costruzioni ospedaliere (ASHRAE Standard 170-2021) fissa come minimo rinnovo d'aria esterna 2 vol/h e il recentissimo ASHRAE Standard 241-2023, relativo al controllo delle infezioni per via aerea, stabilisce in circa 100 m³/h per persona il minimo flusso d'aria esterna nella zona occupata dalle persone (*breathing zone*).

La norma DIN 1946-4:2018, riferimento molto utilizzato in Europa, indica 40 m³/h per persona, con un minimo di 1.5 vol/h. In conclusione, la variabilità delle prescrizioni normative e il fatto che il volume dell'ambiente, come riferimento per la determinazione della portata d'aria, comporti tassi di ventilazione pro capite diversi per diverse dimensioni dell'ambiente stesso, possono dar luogo ad incertezze nelle scelte progettuali.

In ogni caso la portata di rinnovo assunta, congiuntamente alla forte riduzione dei carichi termici sia estivi che invernali, imposta dalla legislazione vigente sulle prestazioni energetiche degli edifici, permette di prendere in considerazione la possibilità di adottare impianti a tutta aria esterna, comunque con controllo locale della temperatura, in luogo degli usuali impianti misti ad aria primaria con terminali ambiente generalmente costituiti da pannelli radianti a soffitto. E' questa una importante innovazione nella climatizzazione di questi reparti ospedalieri, che comporta una certa semplificazione dei sistemi idronici, ma una maggior complessità delle dotazioni aerauliche, in termini di regolatori di portata d'aria (per ogni singola stanza o per gruppi di stanze omologhe), di batterie di post-riscaldamento locali, di dimensioni delle centrali di trattamento e delle reti di distribuzione ecc. Questa scelta implica naturalmente una particolare attenzione nella definizione delle modalità di immissione, distribuzione e ripresa dell'aria, al fine di garantire uniformità di temperatura, appropriata velocità e accettabile qualità complessiva.

Uno strumento particolarmente utile a tal fine, sempre più frequentemente utilizzato nella pratica progettuale, è la simulazione fluidodinamica (*CFD: Computational Fluid Dynamics*) che consente di valutare, e anche rappresentare visivamente in modo efficace, le distribuzioni di temperatura e velocità dell'aria in una specifica condizione di studio. Sono oggi disponibili diversi software di simulazione dei fenomeni termofluidodinamici che permettono di effettuare tali analisi.



Questi software usano metodi numerici agli elementi finiti o ai volumi finiti per risolvere le equazioni che governano il moto dei fluidi e la trasmissione del calore, tenendo conto di molteplici condizioni al contorno, quali trasmittanze degli elementi d'involucro, carichi termici interni convettivi e radiativi e, ovviamente, le caratteristiche dei flussi d'aria immessi ed estratti. Particolare attenzione deve essere posta agli aspetti applicativi, quali la scelta del modello di turbolenza del moto del fluido e la modellizzazione dei diffusori d'aria. Inoltre, date le velocità relativamente elevate in corrispondenza all'immissione, la griglia di discretizzazione ("mesh") dello spazio considerato deve essere ivi più densa che nel resto dell'ambiente, come nell'esempio riportato in figura 1.

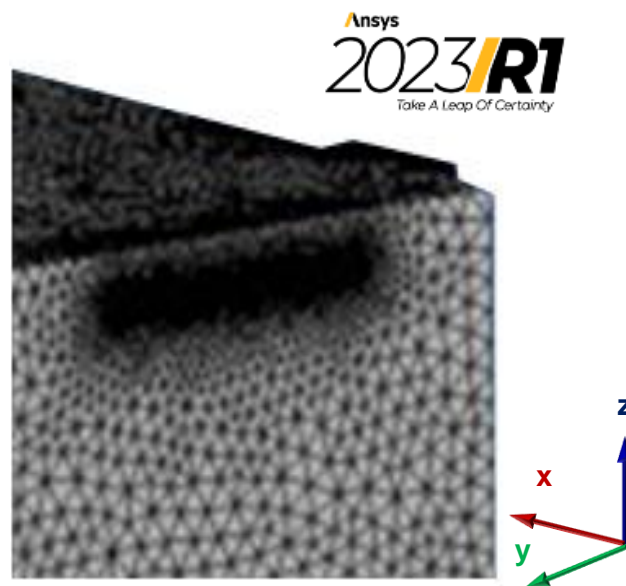


Figura 1

La "mesh" della discretizzazione spaziale, infittita nelle zone più critiche per aumentare l'accuratezza della simulazione numerica

In un caso recentemente considerato si dovevano confrontare diverse tipologie di immissione ed estrazione dell'aria in una camera di degenza a due letti, in relazione ad una possibile variante in corso d'opera. È stato quindi predisposto, mediante il software ANSYS Fluent, un modello digitale della stanza considerata, come illustrato in figura 2: l'ambiente ha una superficie in pianta di circa 29 m² con un'altezza di 3 m per un volume complessivo di 88 m³. La portata d'aria immessa è pari a 300 m³/h, corrispondenti a poco più di 3 vol/h. L'impianto considerato è del tipo a tutta aria, per le ragioni precedentemente esposte.

Oltre alla soluzione progettuale, che prevedeva diffusori lineari a soffitto a getto verticale lungo la finestra (soluzione A in figura 3) e ripresa in parte dal servizio igienico (al quale l'aria perviene attraverso una fessura sotto la porta) e in parte dall'ambiente stesso, a soffitto del vano di ingresso, sono state considerate altre due alternative. Una con mandata attraverso due diffusori posti sulla parete longitudinale, in alto sopra le testate dei due letti, con lancio tangente al soffitto e con ripresa come nel caso di progetto (soluzione B). L'altra con introduzione dell'aria attraverso un diffusore lineare dello stesso tipo della soluzione A, ubicato sulla veletta di ribassamento sopra l'ingresso della stanza, con lancio orizzontale tangente al soffitto (soluzione C) e con le stesse modalità di ripresa.



In tutti i tre casi una (modesta) parte dell'aria immessa transita anche verso il corridoio, tramite la fessura sotto la porta d'ingresso, per mantenere una lieve sovrappressione nella stanza rispetto al corridoio stesso.

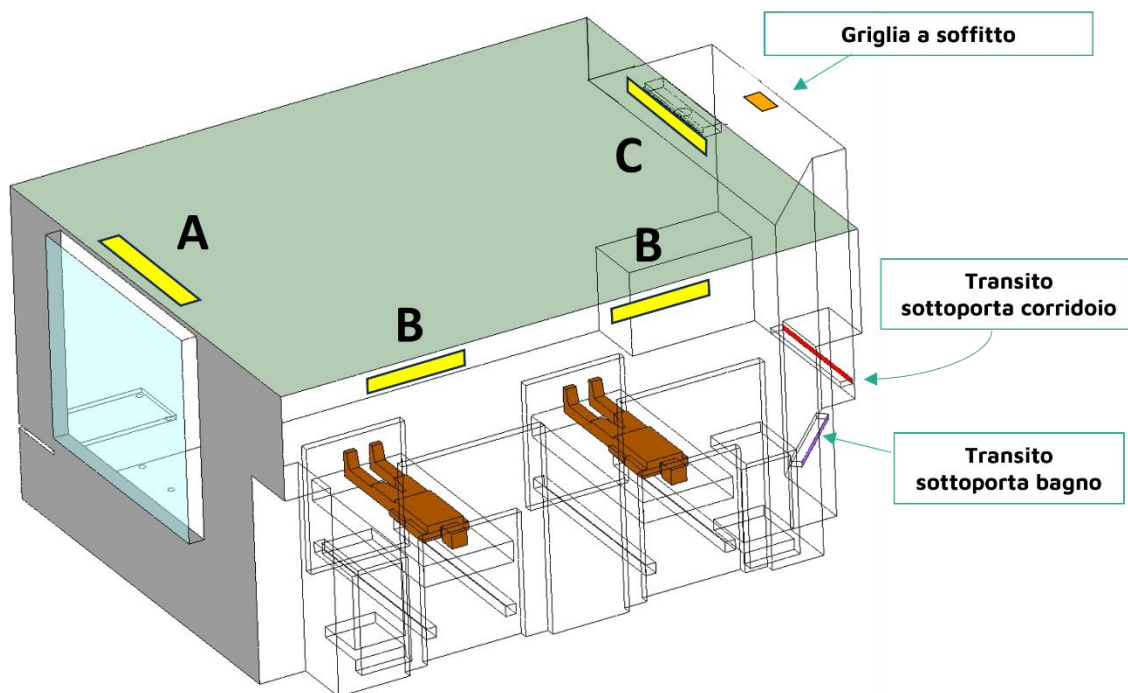


Figura 2

Il modello digitale della camera di degenza

Posizioni alternative dei diffusori di mandata:

A: a soffitto in corrispondenza alla finestra

B: a muro in corrispondenza dei letti, sopra le testate

C: sulla veletta del ribassamento del soffitto all'ingresso della camera

La portata d'aria immessa è pari a $300 \text{ m}^3/\text{h}$; l'estrazione avviene attraverso il transito sottoporta verso corridoio ($30 \text{ m}^3/\text{h}$), il transito sottoporta verso il bagno ($190 \text{ m}^3/\text{h}$) e la griglia a soffitto sopra la porta d'ingresso ($80 \text{ m}^3/\text{h}$)

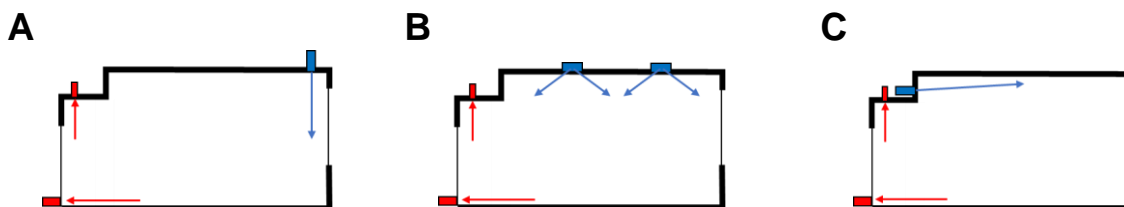


Figura 3

Le diverse disposizioni considerate per le tre tipologie di immissione dell'aria



Le simulazioni effettuate hanno consentito di determinare e visualizzare le distribuzioni di temperatura e di velocità dell'aria in situazioni tipiche di riscaldamento invernale e di raffreddamento estivo per le ipotesi considerate. La soluzione più soddisfacente è risultata essere la C. Il raffronto con le altre è stato effettuato sulla base delle rappresentazioni grafiche degli andamenti delle temperature e delle velocità dell'aria in ambiente. In figura 4 sono riportate le mappe cromatiche delle distribuzioni di temperatura e di velocità dell'aria relative alla soluzione adottata, che risulta anche quella più vantaggiosa dal punto di vista economico. Si può osservare che l'uniformità di temperatura è molto elevata e che la distribuzione di velocità dell'aria è accettabile, considerato il tasso di ventilazione richiesto.

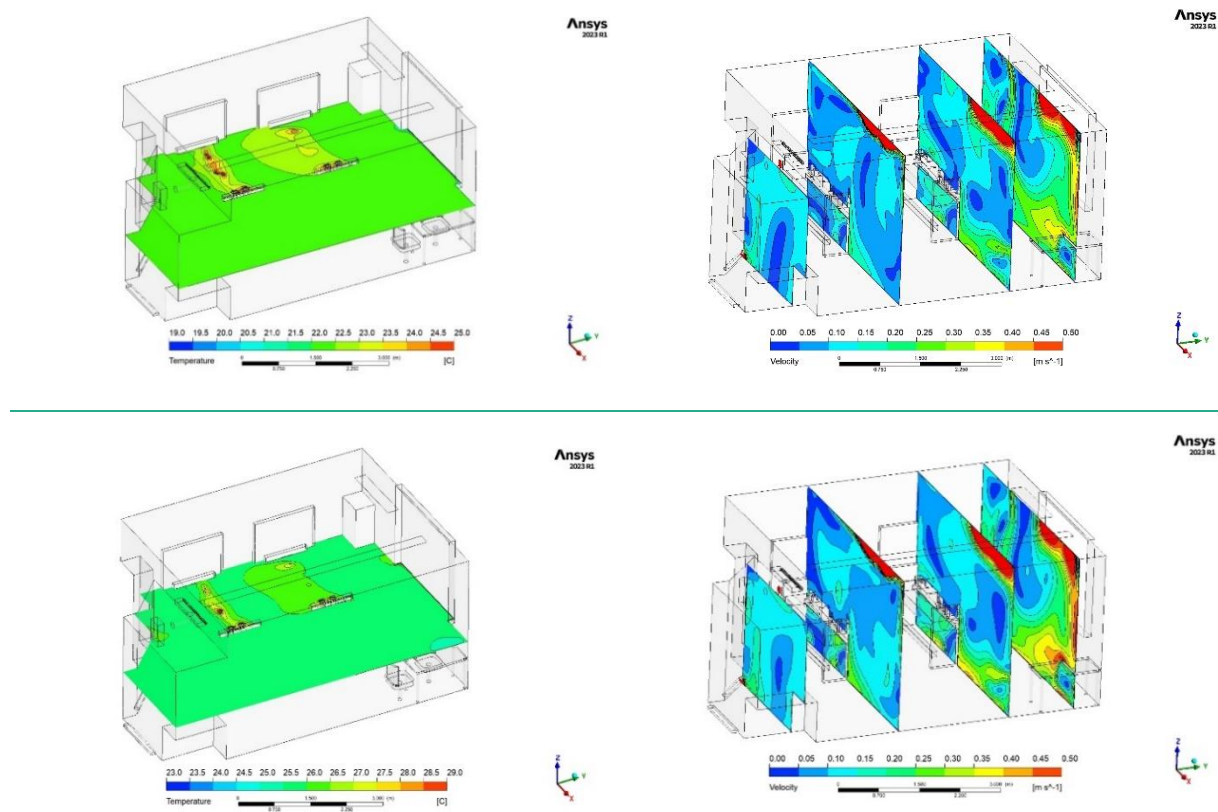


Figura 4

La distribuzione delle temperature a 1,1 m di altezza dal pavimento (a sinistra) e delle velocità dell'aria su sezioni verticali significative (a destra), nel caso di immissione d'aria dalla veletta della zona d'ingresso, nella situazione invernale (sopra) e nella situazione estiva (sotto)



Nella figura 5 è riportato l'andamento delle linee di flusso della distribuzione dell'aria, che mette in evidenza come le zone a più elevata velocità non interessano la zona occupata dai letti dei degenti, mentre lambiscono, con effetto positivo, l'ampia superficie vetrata.

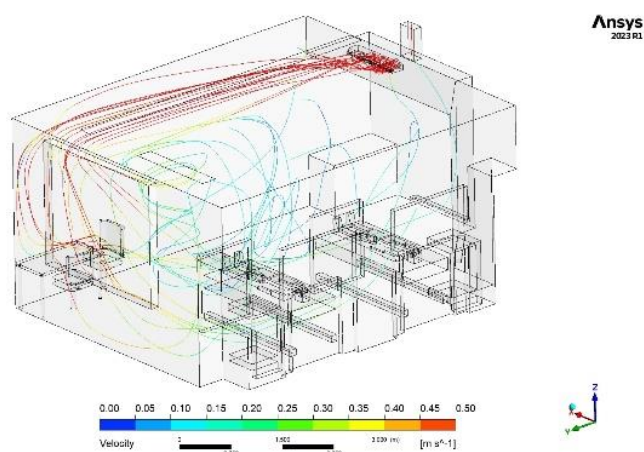


Figura 5

Andamento delle linee di flusso dell'aria con visualizzazione cromatica della velocità

La simulazione fluidodinamica è uno strumento di grande ausilio nello studio di soluzioni adatte a far fronte alle attuali e future esigenze di climatizzazione e qualità dell'aria in ambienti problematici, di cui le camere di degenza dei reparti ospedalieri sono solo un esempio.

Peraltro, gli aspetti da considerare nello studio dell'impianto di climatizzazione di un reparto di degenza non sono solo quelli esposti. Grande attenzione deve essere dedicata ai sistemi di filtrazione (sia come tipo che come posizione all'interno delle centrali di trattamento dell'aria) e ai dispositivi di recupero del calore dall'aria di espulsione, con particolare riferimento alle posizioni dei ventilatori di mandata e di espulsione, per evitare, sia in condizioni di funzionamento normale che in caso di avaria, qualsiasi possibilità di trafilamento dell'aria espulsa verso l'aria di rinnovo entrante nell'unità di trattamento. Vi è poi un'altra questione da valutare, ovvero la richiesta, talora avanzata da qualche direzione sanitaria, di poter aumentare ulteriormente la portata d'aria in eventuali situazioni di emergenza. A tal proposito è da osservare che un tasso di rinnovo di 3 vol/h, ormai frequentemente adottato, corrisponde, per questo tipo di ambienti, ad una portata d'aria di oltre 100 m³/h per persona, valore quindi superiore a quelli indicati nel citato ASHRAE Standard 241-2023, specificamente finalizzato al contrasto della diffusione delle infezioni per via aerea.

Qualora si intenda comunque avere la possibilità di aumentare le portate d'aria in modalità di emergenza, l'impiego della fluidodinamica computazionale consente di valutare l'accettabilità della distribuzione dell'aria in ambiente nelle diverse situazioni, anche in relazione alla tipologia dei diffusori, che devono essere in grado di far fronte a dette variazioni senza compromettere le prestazioni dell'impianto di climatizzazione nella zona occupata. In relazione a tale possibile aumento di portate in situazioni di emergenza non devono comunque essere trascurati gli aspetti specifici di dimensionamento delle centrali di trattamento dell'aria, dei canali di distribuzione e degli altri componenti di impianto.

È infine da precisare che tutto quanto sopra esposto deve considerarsi riferito a reparti di degenze normali e non speciali, come quelle per infettivi o immunodepressi, le cui esigenze devono essere altrimenti risolte tenendo conto anche del controllo delle pressioni relative tra stanze di degenza e ambienti contigui.