



Disposizione JET FAN Dynair Zona 1

zone di accumulo, zone nelle quali la struttura del campo di moto avesse una struttura chiusa.

Successivamente verrà anche illustrato come l'impianto così dimensionato possa garantire la pulizia dell'ambiente dagli agenti inquinati, in particolare concentreremo la nostra attenzione sul monossido di carbonio (vedere Analisi azione agenti inquinanti).

Il valore aggiunto della rete di JET FAN doveva essere tale da garantire che la velocità dell'aria avesse dappertutto un valore accettabile (idealmente non inferiore al valor medio nominale) e, soprattutto, che non vi fossero zone in cui si potessero accumulare il CO (o altro gas indesiderato) emesso localmente.

Al di là delle prescrizioni normative, la questione non era quindi circoscritta al solo modulo della velocità ma impegnava anche la struttura locale del campo di moto, in particolare nelle zone più confinate.

### Analisi azione agenti inquinanti

In questa sezione illustreremo come l'impianto così dimensionato garantisca la "pulizia" dell'ambiente, in determinate condizioni, dagli agenti inquinanti, concentrando la nostra attenzione sul monossido di carbonio (CO) con i seguenti dati di progetto (*tabella 4*).

Il valore di velocità media di attraversamento dell'aria UMEAN pari a 0,30 m/s è un dato ricavato dai risultati del-



Disposizione JET FAN Dynair® zona 2

l'analisi CFD (vedere RISULTATI ANALISI CFD); per quest'analisi è stata considerata come condizione di riferimento quella di normale esercizio del parcheggio e la portata di ventilazione longitudinale determina il flusso medio di aria che transita in direzione longitudinale attraverso il parcheggio per cui - secondo i dati sopra riportati - la velocità media di attraversamento è risultata: 0,30 m/s.

Per il dimensionamento dell'impianto di aspirazione dell'aria dunque si è fatto riferimento alla seguente norma: "La portata dell'impianto di ventilazione meccanica deve essere non inferiore a tre ricambi orari", conformemente

a quanto richiesto al punto "3.9.3 Ventilazione meccanica, Caratteristiche" del Decreto Ministeriale "Nuove norme di sicurezza antincendio per la costruzione e l'esercizio delle autorimesse" dell'1 Febbraio 1986, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n.38 del 15 Febbraio 1986

Il Decreto Ministeriale però non indica alcuna procedura per ottimizzare tale valore, se non quello di determinare un numero di ricambi orari pari a 3; occorre quindi stabilire a quale variabile, legata alla vivibilità, deve essere associato un accettabile valore di velocità media dell'aria.

Una variabile candidata a tale legame è rappresentata dalla

concentrazione di monossido di carbonio (CO), proveniente dalle emissioni dei motori delle auto in moto e/o spenti; la ventilazione dell'aria deve contribuire pertanto a mantenere il livello di CO il più basso possibile, rispettando la normativa locale (se esiste) oppure delle linee guida.

In mancanza di un testo chiarificatore a livello nazionale si è deciso di seguire quanto riportato dal manuale ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) che fissa i criteri limite sulle concentrazioni d'inquinanti raccomandati all'interno di parcheggi interrati.

Sono stati trovati in letteratura studi sperimentali, eseguiti a cavallo degli anni 2000 (ASHRAE Transaction, 2000, ANSI/ASHRAE Standard 62-1989) e successivi aggiornamenti (manuale ASHRAE 2007) relativi alla ventilazione necessaria a mantenere il livello di CO sotto limiti prestabiliti; secondo quanto riportato all'interno del manuale il criterio guida del dimensionamento del sistema di ventilazione è che la concentrazione di monossido di carbonio risulti inferiore a un valore di picco designato: al momento tale valore di picco è 40

Volumetria Totale (V)	Altezza Media (Hm)	Superficie di Pavimento (A)	Ventilazione di Progetto (Q)	Velocità media di attraversamento dell'aria (UMEAN)
55.100 m <sup>3</sup>	2,9 m	19.000m <sup>2</sup>	165.300 m <sup>3</sup> /h = 45.91 m <sup>3</sup> /s	0,30 m/s

Tabella 4

mg/m<sup>3</sup> (35 ppm), con una concentrazione massima di 130 mg/m<sup>3</sup> (120 ppm).

In conformità a questi dati sperimentali è stato possibile stabilire un semplice criterio di dimensionamento della ventilazione come successivamente illustrato.

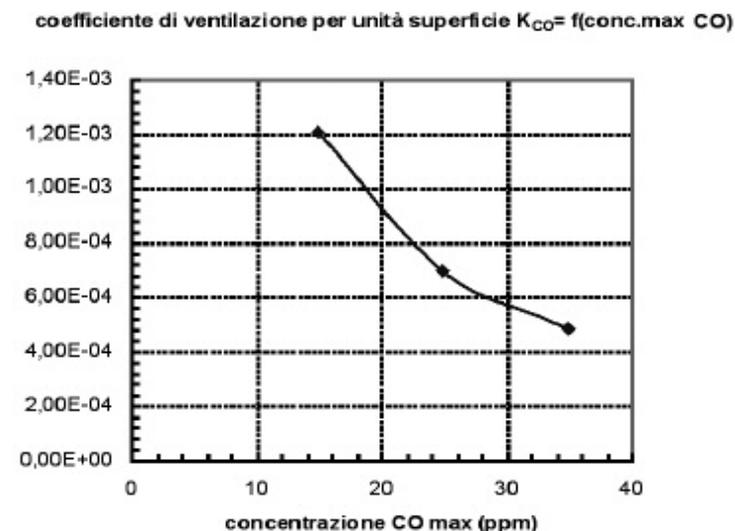
In *Figura 1* è riportata la correlazione empirica del coefficiente di ventilazione K<sub>CO</sub> (litri/m<sup>2</sup> s<sup>2</sup>), basata sull'area della superficie del pavimento del parcheggio, in funzione della concentrazione massima di CO. La portata di ventilazione uA, per unità di superficie di pavimento, è quindi calcolata come:

- $uA = K_{CO} f t$  (dove f rappresenta il picco di generazione di CO normalizzato:  $f = 100 \text{ GR} / \text{GR}_0$ )

Il valore di normalizzazione è assunto pari a:

- $\text{GR}_0 = 26,8 \text{ g}/(\text{oram}^2)$
- $\text{GR} = N \cdot \text{macchine} \cdot R$  (emissione singola macchina)/A

(per l'emissione media di ogni singola macchina vedere i dati in *Tabella 5* il tempo medio



*Figura 1*

Season	Hot emission (stabilized), grams/min		Hot emission grams/min	
	1991	1996	1991	1996
<b>Summer (32 °C (90 [°F])</b>	2.54	1.89	4.27	3.66
<b>Winter (0 °C (32 [°F])</b>	3.61	3.38	20.74	18.96

*Tabella 5*

operativo delle macchine nel parcheggio). Per avere una concentrazione di CO sotto i 35 ppm, con i dati ipotizzati,

sono quindi risultati sufficienti i 3 ricambi orari in conformità alle Norme Ministeriali e ai dati di progetto.

Per i seguenti valori assunti (del tutto indicativi): di N = 30 macchine, R = 16,67 g/minuto = 1.000,00 g/ora, t = 120 s, concentrazione massima di CO = 35 ppm, -> si ottiene  $f = 100 * 7,692 / 26,8 = 28,703$ :

N	R	t	concentrazione massima di CO	f
30 macchine	16,67 g/minuto = 1.000,00 g/ora	120 s	35 ppm	$100 * 7,692 / 26,8 = 28,703$

ed una velocità media per unità di superficie del pavimento pari  $uA =$  -> corrispondente a  $1,66 \text{ e-}3 * 3600 / 2,60 = 2,30$  ricambi orari:

uA	Corrispondenza	ricambi orari
$0,482 \text{ e-}3 * 28,703 * 120 = 1,66$ [litri/m <sup>2</sup> s]		$1,66 \text{ e-}3 * 3600 / 2,60 = 2,30$

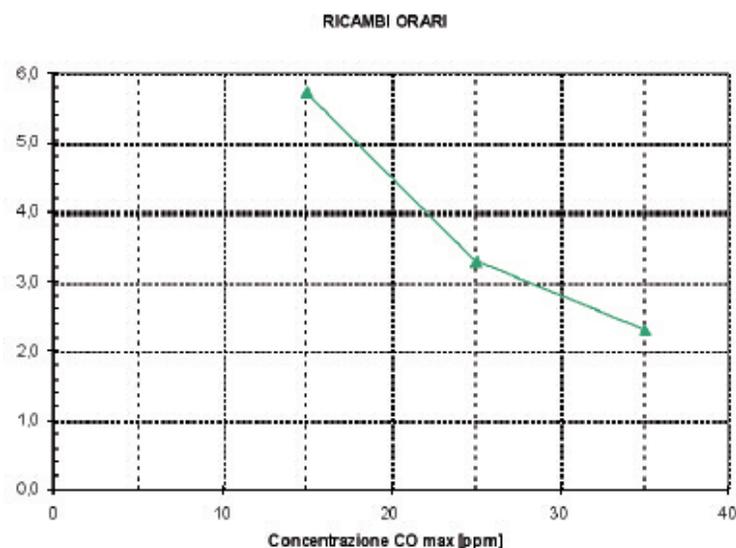


Figura 3

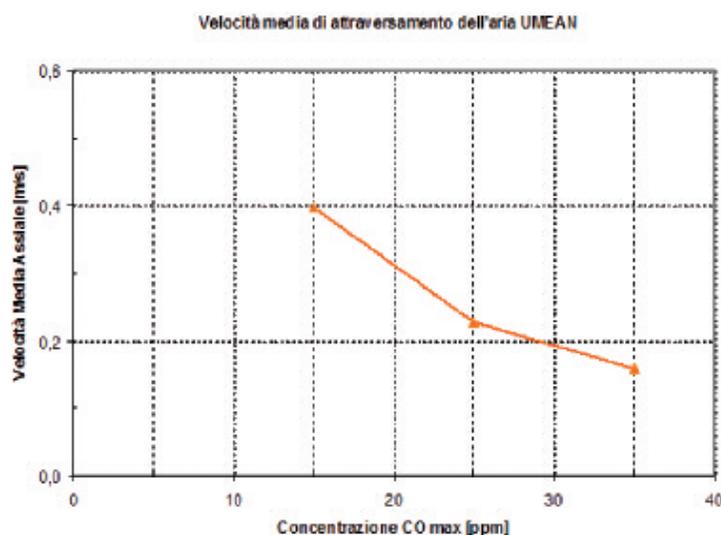


Figura 4

Sempre nel caso indicato di emissione ( $f = 28,703$ ) si ottiene inoltre la curva parametrica dei ricambi orari, riportata nella *Figura 3*, e la curva parametrica della velocità assiale, riportata in *Figura 4*.

Da questa curva si può ricavare, fissato un valore massimo di CO, la ventilazione ne-

cessaria mediante intersezione con una retta verticale passante per COmax.

Alternativamente fissata una ventilazione si può determinare, mediante intersezione con una retta orizzontale, il corrispondente valore di COmax ottenuto con un valore  $f$ .

## Analisi fluidodinamica (CFD)

Tale analisi si basa su una simulazione che integra variabili quali il numero di ricambi/ora necessari (definiti dalla legislazione specifica ad ogni paese), il volume e la direzione dell'aria e le caratteristiche strutturali di ogni singolo parcheggio (in modello 3D).

I dati elaborati generano degli scenari dinamici basati sui profili di velocità dell'aria, sul moto delle particelle e sulla distribuzione dei flussi di aria. Ne risulta un progetto finale fatto su misura. Questo metodico processo consente non solo di misurare l'effettiva efficacia del sistema, ma anche di garantirne l'ottimizzazione da un punto di vista economico in quanto si evitano progetti sovra-dimensionati.

## Realizzazione del modello CFD

Al fine di ottenere un'analisi attendibile e quindi con un grado elevato di accuratezza e affidabilità, è importante che il modello matematico sia realizzato in maniera adeguata. MAICO ITALIA/DYNAIR ha sviluppato un modello matematico tridimensionale partendo dai dati forniti dal progettista sotto forma del layout bidimensionale in formato autocad con segnaletica verticale.

È stata usata particolare attenzione nella fase di modellizzazione degli JET FANS perché si è cercato di ottimiz-

zare, in fase progettuale, le prestazioni degli stessi; di seguito sono riportati i dati di simulazione (Tabella 5)

Per la risoluzione del problema è stata utilizzata una griglia di tipo tetraedrico, con dimensione media definita in funzione del gradiente locale di pressione e velocità mediante un approccio risoluzione-rifinimento. Il raccordo con le pareti è stato effettuato mediante 5 elementi prismatici equispaziati con l'utilizzo di Wall Function per ovviare a problemi di risoluzione.

Fattori quali inclinazione (skewness) degli elementi e rapporto d'aspetto (aspect ratio) sono stati utilizzati per discriminare la qualità della mesh iniziale e tenuti entro limiti accettabili per simulazioni di questa tipologia.

Riguardo alle condizioni al contorno per le equazioni della turbolenza si è imposto un'intensità turbolenta del 10% in tutte le portate degli JET FAN, dato sottostimato a favore di sicurezza causa minore diffusività del getto stesso, mentre per le aperture del parcheggio è stata sufficiente l'applicazione di una condizione di pressione statica fissata.

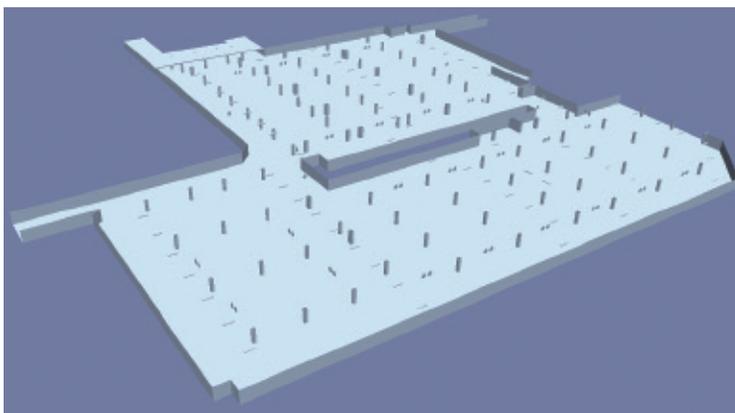


Figura 5 - Modello 3D con il posizionamento dei JET FAN Dynair® tenendo conto della segnaletica verticale

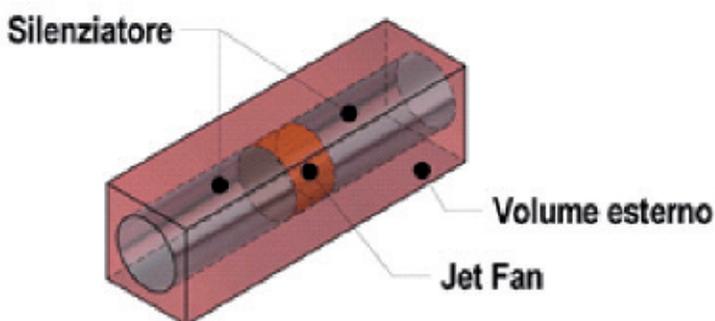


Figura 6- Modellazione tridimensionale del JET FAN

Le simulazioni sono state portate avanti fino allo stabilizzarsi della velocità media pesata su tutti gli elementi della griglia, entro un intervallo del 3% per almeno 1000 iterazioni.

La fase successiva consiste nell'introduzione delle condizioni al contorno e delle condizioni iniziali, quali: pressione esterna e temperatura dell'aria immessa dall'esterno. Una volta che le condizioni di

Modello fluido	Turbolenza	Risolutore	Discretizzazione spaziale	Risolutore algebrico	Risoluzione a parete	JET-FAN	Condizioni al contorno
fluido incompressibile	standard k-epsilon	FEM, SIMPLE p/v coupling	StabilizedGalerkin	ConjugateGradient	N/A, WallFunction utilizzate	volume flow inlet	Pressione, Parete

Tabella 5

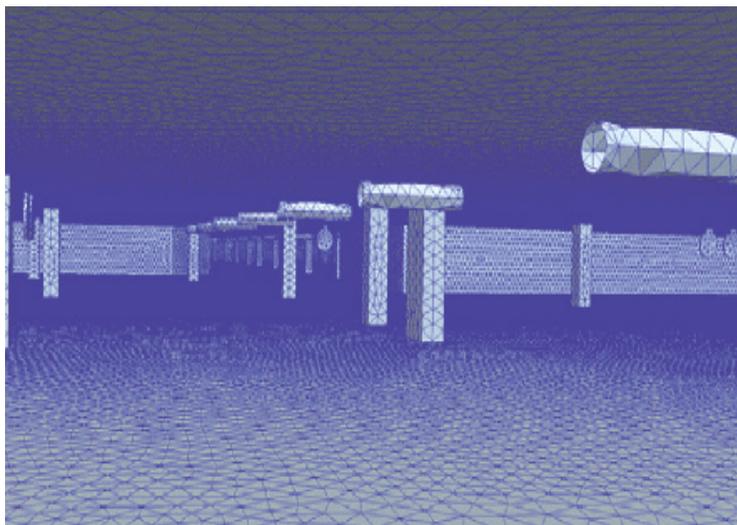


Figura 7 - Volumi Mesh con particolare interno segnaletica verticale

contorno sono state inserite e non è rilevato nessun conflitto, si passa alla creazione del database dei materiali e dei fluidi coinvolti dall'analisi. Ogni volume e ogni superficie deve essere associata a un materiale che a sua volta è associato a una matrice contenente tutte le caratteristiche principali.

Durante questa fase di definizione dei materiali, al modello dei ventilatori è assegnata la curva delle prestazioni aerauliche (Curva Portata - Pressione).

Successivamente è definita la meshatura, cioè la quantità di volumi primitivi in cui suddividere il modello solido.

Questa è l'operazione più importante durante la fase dell'impostazione dell'analisi perché, secondo il valore di mesh definito per ogni parte (elemento, fluido, volume, superficie o spigolo) del model-

lo, potremo approfondire lo studio dei risultati e soprattutto avere una soluzione senza punti di discontinuità che possono portare a una divergenza, quindi a una soluzione non accettabile.

La definizione di un livello di mesh molto fitto (volumi molto piccoli rispetto al volume totale del modello solido) fornisce dunque risultati più particolareggiati, ma bisogna anche considerare che un valore troppo folto di mesh possa portare al blocco dell'analisi, data l'enorme quantità di calcolo e di memoria richiesta.

Bisogna perciò trovare un buon compromesso tra l'accuratezza con la quale si vogliono i risultati dell'analisi e la possibilità, in termini pratici, del conseguimento degli stessi.

Nella figura 7 si può notare come l'intero volume del compartimento sia suddiviso

in un numero molto elevato di elementi; più è alto questo numero maggiore sarà l'approssimazione e l'attendibilità della simulazione.

Per contro il motore del software si trova a dover risolvere un maggior numero di equazioni, richiedendo quindi una notevole capacità di calcolo e tempo all'elaboratore.

Quando tutti i dati necessari all'avvio della simulazione sono stati inseriti, l'elaboratore procede nello sviluppo di una soluzione di equilibrio, studiando e ricalcolando per ogni punto del modello tutte le variabili fluido-dinamiche.

Lo stato di equilibrio si ottiene quando tutte le variabili di stato convergono a un determinato valore, oppure le soluzioni oscillano attorno ad un valore fisso con ampiezza e frequenza costanti. In media ogni simulazione (escluso la creazione di modello matematico e database materiali) è durata più di 500 minuti; il calcolatore ha eseguito 1000 iterazioni per arrivare a convergenza (figura 8).

### Risultati analisi CFD

In questa sezione esamineremo i risultati ottenuti dal simulatore a seguito dell'analisi descritta nei paragrafi precedenti ed in particolare i dati ottenuti dall'analisi del Compartimento Interrato con i ventilatori per funzionamento normale di esercizio, estrazione CO, scopo dello studio secondo D.M. dello 01/2/1986. Lo sviluppo dell'analisi è sta-