



Il "fenomeno" Zitron in alcuni rilevanti recenti progetti

L'APPLICAZIONE DI NUOVE TECNOLOGIE PER LA PROGETTAZIONE, L'OTTIMIZZAZIONE E LA VALIDAZIONE DI UN IMPIANTO DI VENTILAZIONE IN GALLERIA

Tecnologie & Sistemi

Massimiliano Bringiotti*
Justo Suarez**
Giampiero Parodi***
Mario Lanciano****

Durante gli ultimi anni, la necessità di scavare gallerie sempre più lunghe è aumentata in maniera considerevole, tanto che oggi vengono costruiti tunnel anche di varie decine di chilometri.

Le tecnologie di scavo meccanizzato si sono di conseguenza enormemente sviluppate ed è ormai affermabile che non esistono più limitazioni in termini di lunghezza realizzabile.

La Zitron e Alonso

Le installazioni elettromeccaniche dei "long tunnel" si sono evolute e adeguate rapidamente al mutare delle esigenze di sicurezza e di comfort; se così non fosse stato, si sarebbe arrivati al paradosso di avere un limite costruttivo in lunghezza non dovuto alle tecniche di scavo ma agli impianti necessari per la corretta gestione dell'infrastruttura.

Tra questi impianti (illuminazione, comunicazione, videosorveglianza, detenzione e sistemi di spegnimento degli incendi, ecc.), la ventilazione è uno dei maggiormente critici; infatti, tale sistema è direttamente correlato al comfort e alla sicurezza dei passeggeri, oltre a essere l'impianto che assorbe il quantitativo maggiore di energia elettrica. Pertanto, la progettazione di un sicuro ed efficace impianto di ventilazione diventa un obiettivo strategico che necessita di uno studio approfondito.

Per raggiungere tale scopo, sono state sviluppate tecnologie innovative quali il "CFD" (Computational Fluid Dynamics) e lo "Scanner 3D", oltre al fatto che per verificare, ottimizzare e validare la progettazione, il Costruttore di ventilatori dovrebbe essere in grado di poter effettuare prove aerodinamiche in scala reale a piena potenza.

Ma cosa hanno in comune la Zitron e la Ferrari?

La città di origine di Alonso è la stessa in cui è situata la sede centrale della spagnola Zitron. Infatti, è nella regione mineraria delle Asturie dove si trovano le città tra di loro collegate di Gijon (il porto) e Oviedo (la Capitale); qui è nata, oltre 40 anni or sono,



Figura 1 - Il test bench di Zitron

cresciuta e affermata nel mondo intero una Società Leader indiscussa nel campo della progettazione e nella realizzazione di impianti di ventilazione, nel settore delle opere civili, metropolitane e minerarie. L'Azienda si è attrezzata attraverso varie "facilities" tecniche e servizi unici nel panorama internazionale, quali:

- ◆ il test bench (banco prove) più imponente al mondo (Figura 1), in grado di provare in condizioni di reale esercizio anche ventilatori "importanti", quali quello che è attualmente in costruzione avente 5,2 m di diametro e 9,4 MW di potenza;
- ◆ la possibilità di eseguire varie prove al fuoco in condizioni di incendio reale in un galleria artificiale, della lunghezza di quasi 1 km, realizzata dalla Foundation Barredo - TST (Tunnel Safety Testing) in collaborazione tecnica con la Zitron (Figura 2);
- ◆ la certezza di poter effettuare in banco tutte le prove di resistenza al fuoco dei ventilatori a getto o assiali, sempre sfruttando le moderne strutture di TST situate a pochi km dalla fabbrica Zitron;
- ◆ un pool di Ingegneri totalmente dedicati alla Progettazione e al Research & Development, in grado utilizzare strumenti sofisticati (CFD, 3D Scanner, Fluent, ecc.) e di "sforzare" studi, soluzioni e invenzioni quali il recente VEI "Ventilatore Elettronico Intelligente".



Figura 2 - La galleria artificiale del TST (Tunnel Safety Testing)



Molto si è già scritto riguardo a tali temi e varie Aziende e Committenti istituzionali italiani hanno inviato i loro Tecnici (spesso si è mossa direttamente la Proprietà) a visitare sia la Zitron che la TST.

In questo breve articolo parleremo semplicemente del processo di validazione di un ventilatore, dalla sua fase di progetto a quella di test, iter che coinvolge varie Divisioni di questa complessa e delicata industria. Termineremo con un accenno ad alcuni lavori rappresentativi recentemente realizzati o acquisiti nel panorama italiano.

La progettazione di un ventilatore

Normalmente sono le specifiche tecniche del Cliente che forniscono gli input principali per la progettazione del ventilatore.

Queste informazioni minime sono:

1. caratteristiche aerodinamiche:

- ◆ punto di lavoro (portata verso pressione);
- ◆ efficienza;
- ◆ reversibilità;
- ◆ performance della curva di lavoro.

2. tipologia di costruzione del ventilatore e qualità dei materiali;

3. limiti geometrici e dimensionali per l'installazione.

Alcune considerazioni di base sul progetto aerodinamico

La progettazione delle ventole rappresenta il fulcro dell'intero sistema perché definisce le performance del ventilatore (portata e pressione) ed il consumo elettrico (efficienza).

I parametri principali di progetto sono relazionabili ai profili delle palette ed alle guide di raddrizzamento dei filetti (Figura 3).

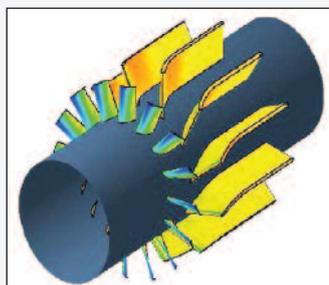
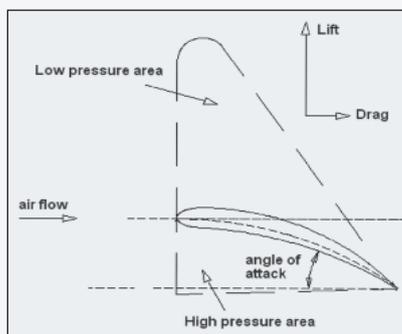


Figura 3 - Palette, raddrizzatori e forze in gioco



L'obiettivo è di ottenere la maggior forza di sollevamento (lift force - F_L) con la minor forza resistente (drag force - F_D).

Il profilo della parte superiore della pala causa un incremento locale di velocità nell'aria e, pertanto, una riduzione della pressione statica, generando una forza di sollevamento.

L'analisi di queste forze e dei coefficienti aerodinamici delle pale permette anche di capire quale è il limite di funzionamento, cioè quando avviene il fenomeno di stallo (momento in cui accade una separazione del flusso con un forte incremento delle forze resistenti, funzione dell'angolo di inclinazione della pala).

Alcune altre regole generiche da tenere in conto sono:

- ◆ numero delle pale della ventola: più pale → maggior pressione;
- ◆ diametro della ventola: maggior diametro → maggior portata;
- ◆ diametro del mozzo: maggior diametro → minor portata.

Il Computational Fan Design (Numecca)

La moderna progettazione viene assistita dalla tecnologia CFD (Computational Fluid Dynamics); in questo settore uno dei più potenti software si chiama NUMECA.

L'obiettivo è quello di simulare complessi modelli fluidodinamici evitando l'esecuzione di costosi esperimenti fisici.

La tecnica computazionale differisce sia dalle soluzioni analitiche che teoriche per il fatto che vengono risolte equazioni in un numero finito di punti invece che per l'intero campo di flusso. Viene pertanto definita una densa griglia di analisi nelle aree ove la soluzione può cambiare rapidamente (zone di shock, zone di profilo, ecc.) e una griglia a maglie più larghe nelle aree ove ci si aspetta che le condizioni mutino in maniera più graduale.

La selezione dei nodi viene chiamata Scienza della Generazione delle Griglia; è un campo complesso e presenta numerose applicazioni al di fuori del CFD, quali la costruzione di modelli solidi in grado di resistere a stress e vibrazioni oppure per le analisi di trasferimento del calore.

La soluzione di un problema di CFD prevede tre step principali:

- ◆ discretizzazione spaziale del dominio;
- ◆ computazione e simulazione del flusso;
- ◆ visualizzazione dei risultati.

La Numecca International ha sviluppato tre software per rispondere a queste esigenze:

- ◆ IGG™, "Interactive Geometry Modeller and Grid generation system" per generare griglie strutturate a multiblocco;
- ◆ EURANUS, che è un sistema a 3D multiblocco in grado di simulare le linee di flusso di Eulero o di Navier-Stokes (laminare o turbolento);
- ◆ CF View™, "Computational Field Visualisation", che è un sistema altamente interattivo di visualizzazione.

Questi tre software sono stati integrati in un'unica interfaccia grafica chiamata FINE™, in grado di generare una simulazione completa in 3D delle linee di flusso interne ed esterne, dalla generazione alla visualizzazione della griglia, senza alcuna manipolazione dei file, attraverso i dati concettuali di input del progetto in analisi.

Un esempio di progettazione di un ventilatore virtuale

Descriveremo in estrema sintesi un esempio di progettazione aerodinamica di un ventilatore virtuale sfruttando la tecnologia CFD.

La macchina in oggetto è uno Zitron modello ZVN 1-20-160/6; le principali caratteristiche sono:

- ◆ diametro del ventilatore: 2.000 mm;
- ◆ diametro del mozzo: 1.200 mm;

◆ potenza: 160 kW;

◆ velocità di rotazione: 990 rpm (50 Hz, motore a sei poli).

Per preparare il modello geometrico nel simulatore CFD il ventilatore viene diviso in due differenti blocchi: il rotore (ventola) e lo statore.

Per generare il blocco del rotore vengono utilizzati anche i seguenti dati aggiuntivi:

- ◆ numero di palette: 12;
- ◆ tolleranza del profilo: 7 mm.

Il primo passo è rappresentato dalla creazione in 3D del profilo della pala (Figura 4).

Per quanto riguarda il blocco del rotore esso simula la parte statica del ventilatore; in questo caso i raddrizzatori di filetto rappresentano l'elemento principale (n° 11) ed anch'essi vengono simulati in 3D.



Figura 4 - Il lato di pressione e di aspirazione della pala 3D



La discretizzazione spaziale del dominio del flusso

Viene pertanto definita la spaziatura della griglia, densificandola nelle zone ove le condizioni cambiano rapidamente, quali le aree a geometria complessa, le zone di bordo e confine, i profili alari, i profili di guida e le zone di pressione.

La qualità della griglia riveste una importanza basilare e influenza enormemente la soluzione del problema (che potrebbe anche non esistere); lo studio del livello di curvatura e il rapporto di espansione (la ratio tra le celle adiacenti) sono i parametri principali per determinare la qualità della stessa. Per ottenere una buona qualità di griglia in tutto il dominio del flusso aerodinamico è necessario dividere ogni parte del rotore e dello statore in blocchi di dimensioni minori.

Un esempio di maglia di blocchi del rotore viene riportato in Figura 5.

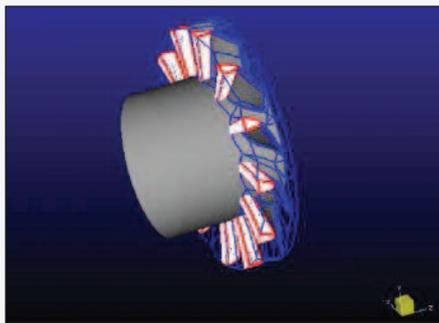


Figura 5 - Il blocco n° 6 del rotore

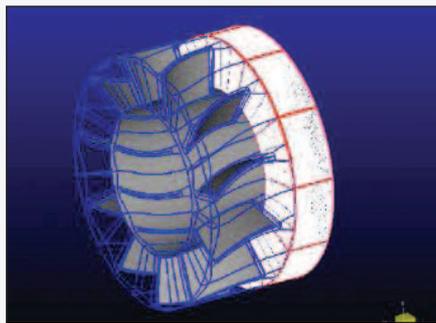


Figura 6 - Il blocco n° 7 dello statore

La maglia dello statore è normalmente minore perché non è necessario studiare la tolleranza tra il profilo delle palette e la carcassa del ventilatore; un esempio è riportato in Figura 6.

La modellizzazione del flusso

Per definire il modello di progetto del flusso aerodinamico è necessario scegliere il regime di lavoro tra il modello laminare e quello turbolento.

Per il modello laminare il fluido utilizzato, l'aria, è assimilabile a un gas perfetto che segue la legge di Prandtl, valori di C_p e γ costanti a viscosità secondo la legge di Sutherland.

Utilizzando tale modello si sono ottenute soluzioni molto accurate con una buona convergenza alla realtà fluidodinamica dei calcoli.

Il modello turbolento che viene utilizzato in simulazione viene chiamato Spalart-Allmaras (1992) e prende in considerazione le implementazioni descritte da Ashford e Powell

(1996); è un modello ben testato, robusto e in grado di impegnare CPU e Memoria in maniera ottimizzata.

Le condizioni al contorno

Per ottenere una intera curva di funzionamento di un ventilatore, le equazioni aerodinamiche devono essere risolte per differenti valori della portata; è pertanto necessario lanciare tante simulazioni quanti sono i punti (portata-pressione) che vogliamo ottenere.

E' anche necessario definire tutte le condizioni geometriche al contorno, quali:

- ◆ inlet;
- ◆ outlet;
- ◆ interfaccia rotore/statore;
- ◆ pareti solide;
- ◆ connessioni interne;
- ◆ periodicità.

Successivamente, il dominio del flusso viene diviso in due blocchi principali; la composizione di questi domini corrispondenti all'Inlet (entrata nel blocco del rotore), Outlet (uscita nel blocco dello statore) e Interfaccia Rotore/Statore, vengono esemplificate nelle Figure 7A, 7B e 7C.

I risultati

Successivamente, si provvederà a cambiare l'angolo di inclinazione delle pale (normalmente con step di 2°) per ottenere l'intera gamma delle curve di funzionamento generabili dal ventilatore virtuale.

Verranno pertanto modellate diverse immagini 2D e 3D, in grado di mostrare la distribuzione della velocità e delle pressioni, i vettori di velocità, le linee di flusso (Figura 8) e la turbolenza all'interno del sistema (Figura 9).

Per calcolare correttamente tutti i punti della curva di funzionamento bisogna pertanto anche valutare le varie condizioni al contorno al fine

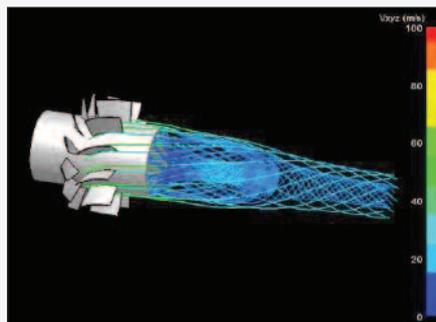


Figura 8 - Le linee di flusso controcorrente

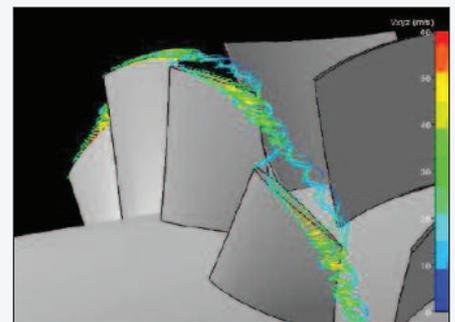


Figura 9 - La turbolenza nella zona di confine

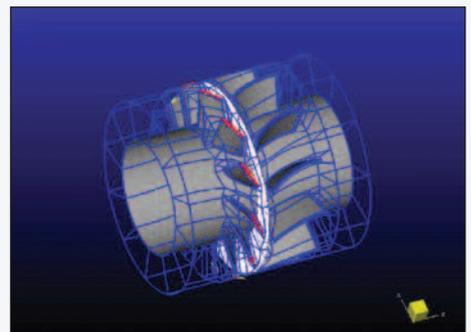
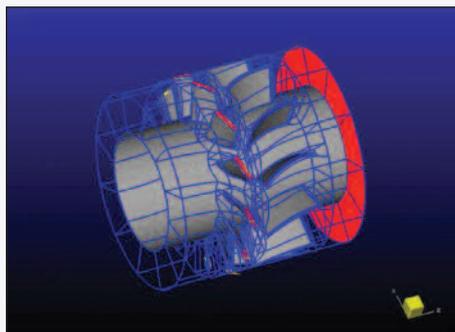
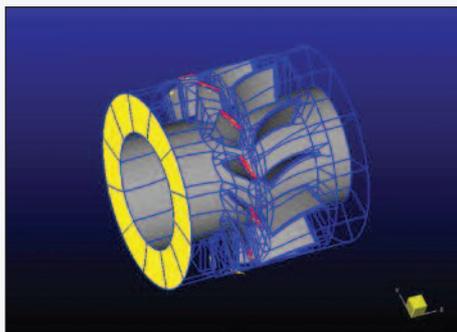


Figure 7A, 7B e 7C - La composizione dei domini aerodinamici



di ottenere come risultati la pressione statica e la coppia necessaria per dimensionare il motore (essendone cognita la sua velocità). Con questi risultati un punto della curva sarà totalmente definito tramite la portata (Q), la pressione totale (ΔP_t) e l'efficienza (η).

La pressione totale del ventilatore è pari a: $\Delta P_t = \Delta P_s + \Delta P_d$. Per questo modello $\Delta P_d = 0$ perchè il dominio del flusso in Inlet è uguale a quello di Outlet.

Pertanto $\Delta P_t = \Delta P_s$, per cui

$$\Delta P_t = P_{so} - P_{si} \quad (1)$$

dove:

- ◆ P_{so} = pressione statica all'outlet;
- ◆ P_{si} = pressione statica all'inlet.

La potenza all'asse del motore (W) è:

$$W = T \cdot \omega \quad (2)$$

dove:

- ◆ T = coppia (N · m);
- ◆ ω = velocità rotazionale (rad/s).

L'efficienza aerodinamica (η) si calcola come

$$\eta = (Q \cdot \Delta P_t) / W \quad (3)$$

La verifica delle pale e controllo di qualità tramite lo scanner a 3D

Chiaramente un buon progetto teorico non è sufficiente per garantire ottime performance ed elevata efficienza. Per rendere reale questa progettazione "perfetta" è necessario che le pale vengano propriamente verificate, al fine di sincerarsi che le tolleranze di fabbricazione siano comparabili con quelle teoriche.



Figura 10 - La fase 1: la scansione della pala

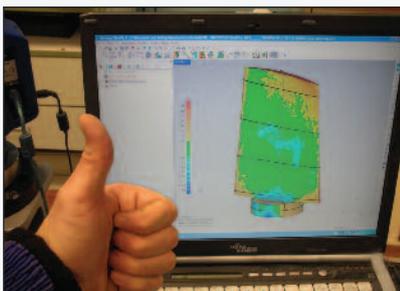


Figura 11 - La fase 2: la comparazione della pala reale con quella teorica

A tale scopo, è stata sviluppata dalla Zitron una nuova tecnologia chiamata 3D Scanner che, insieme ad alcuni sofisticati software, è in grado di eseguire tale controllo.

In sintesi, un Tecnico, tramite una speciale attrezzatura, si occupa di rilevare a scanner l'intero profilo alare realizzato della pala (Figura 10) e un programma speciale compara i dati reali a quelli teorici rilevandone gli scostamenti (Figura 11), permettendo di valutare l'accuratezza della costruzione e, conseguentemente, di avviare la produzione del lotto o di modificarla.



Figure 14A e 14B - Il laboratorio TST

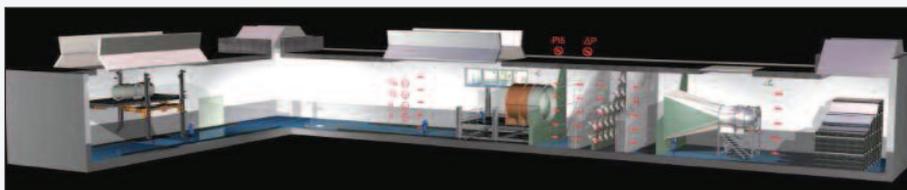


Figura 12 - Il banco di prova Zitron è il più grande al mondo



Figura 13 - Un ventilatore da 4,2 m di diametro e 3,5 MW di potenza, con angolo di calettatura delle pale variabile oleodinamicamente

I test in fabbrica

I test aerodinamici

Il test aerodinamico è una delle pietre miliari di un progetto di ventilazione; dovrebbe essere condotto al 100% della capacità del ventilatore.

E' la prova che certifica che ciò che è stato studiato a "tavolino", verificato nei suoi componenti, una volta assemblato è in grado di fare ciò per cui è stato progettato. Dovrebbe anche essere di interesse prioritario per il Cliente eseguirlo. E' infatti importante verificare il rispetto dei dati di targa del

ventilatore in funzione di quanto studiato (curva caratteristica, efficienza, assorbimento di energia, ecc.). Questi test andrebbero effettuati in banchi di prova accreditati (Figura 12) e dovrebbero venire eseguiti secondo standard internazionali, quali l'AMCA 210.

Ogni deviazione o possibile problema dovrebbe essere controllata ed eventualmente corretta in questa fase prima di consegnare il ventilatore in cantiere; basti pensare ai danni che potrebbero sorgere in una miniera in caso di stallo del ventilatore per motivi costruttivi (Figura 13) oppure in caso di incremento inatteso del costo per una variazione di efficienza, anche piccola, della macchina.

I test di temperatura

Molti dei ventilatori utilizzati nei moderni impianti richiedono una elevata resistenza alle alte temperature. La certificazione di tali modelli necessita la presenza di un banco di prova particolare. Queste prove devono venire effettuate in laboratori accreditati, secondo la norma europea EN 12101 (Figure 14A e 14B).



L'ottimizzazione e la validazione di un completo progetto di ventilazione tramite il Fluent

I ventilatori e i loro accessori vengono installati all'interno di manufatti progettati ad hoc, connessi a circuiti di ventilazione.

Questi ultimi collegano il tunnel con l'atmosfera tramite tubi, canali, gallerie e pozzi di ventilazione.

E' pertanto molto importante verificare che le perdite di carico nel circuito di lavoro siano calcolate in maniera appropriata.

Oltre alle classiche formule in grado di valutare tali parametri, al giorno d'oggi programmi in CFD sono in grado di verificare e ottimizzare le perdite di pressione lungo l'intero circuito.

Uno dei sistemi più potenti e comunemente sfruttati è il Fluent (Figura 15); tramite l'utilizzo di tale strumento è possibile validare anche complessi progetti di ventilazione, mediante la simulazione, l'individuazione e la risoluzione delle eventuali criticità.

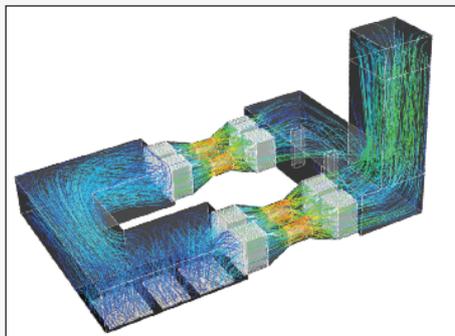


Figura 15 - Un esempio di una complessa simulazione Fluent realizzata in Zitron (ventilazione di una lunga galleria stradale a due canne tramite pozzo)

La galleria di Base della Variante di Valico, sulla A1 - tratta FI-BO

Un recente risultato di questo complesso iter progettuale è stato l'acquisizione del contratto di fornitura dei grossi ventilatori assiali per la camera di ventilazione della galleria di base della Variante di Valico. Trattasi di un tunnel di lunghezza maggiore di 8 km, con una sezione

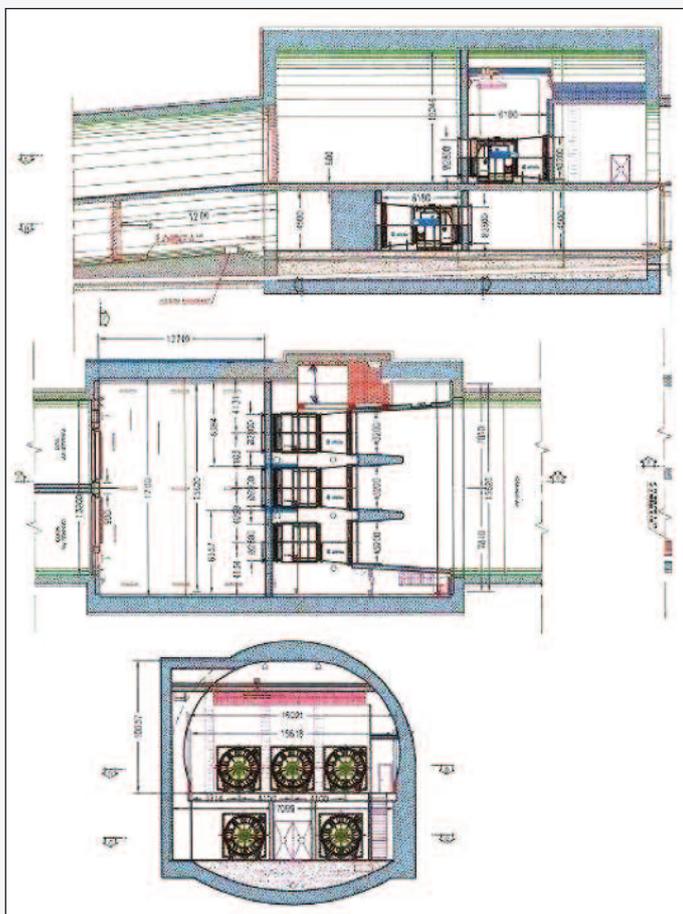


Figura 16 - Il layout progettuale del sistema di ventilazione principale

autostradale a tre corsie a due canne di percorrenza; si consideri che questa autostrada rappresenta l'asse di percorrenza più trafficato non solo dell'intera Italia ma anche dell'Europa centrale, direzione N-S.

Il team di progettazione della Zitron è riuscito ad ottimizzare l'impianto, garantendo notevoli risparmi di carattere energetico, aumentando l'efficienza e il coefficiente di sicurezza dell'intero sistema. In questo progetto, si parla dell'installazione di cinque ventilatori del diametro di 2,8 m, tre della potenza pari a 450 kW e due di 400 kW (Figura 16).

La Zitron e le Metropolitane

Il processo di modernizzazione delle vie di comunicazione urbane ha visto lo svilupparsi in Italia e nel mondo di varie iniziative legate alla realizzazione di nuove linee sotterranee di metropolitana. Zitron, in collaborazione con la sua Agenzia GeoTunnel, sta seguendo vari ambiziosi progetti.

La Metropolitana di Salonicco: un progetto supervisionato da Zitron

La nuova linea metropolitana della città di Salonicco, seconda città della Grecia, è un complesso progetto urbano (Figura 17) che vede coinvolte MM (Metropolitana Milanese) come Progettista e le Imprese di costruzione Impregilo e Seli SpA (oltre ad Ansaldo TSF e AnsaldoBreda).

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto di trasporto ultramoderno di ultima generazione, senza guidatore, con porte di banchina automatiche e impianto di condizionamento e ventilazione "intelligente".

I dati salienti sono:

- ◆ 13 stazioni;
- ◆ 56 ventilatori assiali;
- ◆ 52 Jet fans;
- ◆ > 8 MW di potenza totale installata;
- ◆ temperatura di esercizio in caso di emergenza: 2 ore a 250°C.

Zitron si è aggiudicata l'intero lavoro che prevede non solo la fornitura completa delle installazioni impiantistiche ma anche la responsabilità della parziale realizzazione e della completa validazione dell'intero progetto aeraulico.



Figura 17 - Il layout del progetto della nuova linea metropolitana di Salonicco



Mirti, Centocelle, Alessandrino, Torre Spaccata, Giglioli, Giardinetti oltre a 13 pozzi intermedi di ventilazione.

A tal proposito lo staff di progettazione della Zitron è stato chiamato, oltre che per la validazione del progetto, a studiare soluzioni innovative idonee a risolvere inaspettati problemi aeraulici scaturiti dal variare in corso d'opera dei parametri dimensionali di alcuni pozzi di ventilazione. Sono stati così progettati anche speciali impianti di ventilazione adatti a funzionare da una posizione di installazione verticale (Figura 21).



Figura 21 - Un esempio di batteria di ventilatori installati verticalmente

Il team Zitron & GeoTunnel è stato anche incaricato, in questo caso, di gestire un complesso contratto costruito dalla Metro C, dovendo interfacciarsi direttamente, sia dal punto di vista progettuale che dell'assistenza all'installazione, con un numero superiore a dieci Società affidatarie dei lavori elettromeccanici.

Il VEI - Ventilatore Elettronico Intelligente

Terminiamo questo breve articolo descrivendo per sommi capi un innovativo prodotto che è stato ingegnerizzato, brevettato e realizzato sfruttando le sinergie messe in campo tra le Società Italoiberica e Zitron.

Trattasi del VE, il Ventilatore Elettronico, una macchina realmente innovativa che presenta varie peculiarità tra le quali:

- ◆ la girante viene costruita in acciaio inossidabile, materiale utilizzato al posto della usuale lega in alluminio; tale configurazione apporta enormi vantaggi quali:
 - ◆ diminuzione del peso della girante con conseguente minor affaticamento del motore e dei cuscinetti;
 - ◆ diminuzione dell'inerzia del ventilatore (ottimizzazione dei tempi di frenatura e inversione di marcia);
 - ◆ miglioramento delle caratteristiche meccaniche sia nei confronti degli urti causati da eventuali corpi estranei che delle usure a fatica, che rispetto alla corrosione (fumi degli autoveicoli e atmosfere saline);
 - ◆ aumento della resistenza ai carichi d'incendio, potendo tale materiale lavorare a temperature superiori ai 600°C senza rilevanti deformazioni;
 - ◆ aumento della stabilità meccanica e diminuzione delle vibrazioni;
 - ◆ diminuzione della corrente di spunto;
 - ◆ diminuzione della corrente assorbita.

- ◆ il motore viene installato all'interno della carcassa tramite un innovativo sistema stellare a tiranti, che apporta vari vantaggi tra i quali:
 - ◆ il posizionamento simmetrico garantisce una migliore distribuzione dei carichi aumentando la vita utile del motore;
 - ◆ viene anche garantita un migliore raffreddamento dello stesso;
 - ◆ si presenta una chiara diminuzione delle vibrazioni e della turbolenza aerodinamica per cui un aumento del rendimento della macchina;
 - ◆ diminuzione della potenza sonora generata dalla macchina in fase di lavoro per l'effetto dell'eliminazione delle turbolenze nell'intorno del motore elettrico.
- ◆ il sistema di sospensione è stato totalmente reingegnerizzato sfruttando profilati e cinematismi di snodo in acciaio inox garantendo:
 - ◆ la sicurezza nella fase di posa in opera così come in fase operativa;
 - ◆ l'adattabilità a differenti profili di volta di galleria;
 - ◆ la possibilità di assemblare (e sostituire/manutenzionare) facilmente su di esso vari meccanismi aggiuntivi quali le nuove prese-spine di alimentazione (anch'esse brevettate da Italoiberica e costruite da Palazzoli) o sistemi elettronici.
- ◆ il ventilatore può essere asservito a uno speciale gruppo elettronico in grado di gestire elevate temperature (> 400°C per 2 ore); tale sistema apporta numerosi vantaggi:
 - ◆ l'accensione e lo spegnimento per via remota.
 - ◆ Il controllo di tutti i parametri (temperatura, vibrazione, distacco, portate, pressioni, ecc.);
 - ◆ la regolazione "intelligente" in fase di funzionamento per far fronte al mutare delle condizioni di traffico e nel caso di emergenza (garantendo, ad esempio, il controllo della stratificazione dei fumi caldi);
 - ◆ l'ottimizzazione della sezione dei cavi elettrici di alimentazione, garantendo buoni risparmi non solo sulle forniture degli stessi ma anche sull'approvvigionamento di tutti i sistemi elettromeccanici e di sicurezza (trasformatori, gruppi elettrogeni di emergenza, ecc.);
 - ◆ l'assorbimento minimo di energia elettrica, avendo il sistema un $\cos \Phi = 1$.

Tutte queste migliorie garantiscono al VE non solo di funzionare come una macchina sicura e intelligente ma anche di ottemperare a tutte le chiare disposizioni legislative ed ai principi di etica e sostenibilità in merito all'ottimizzazione dei consumi energetici.

Autostrade per l'Italia SpA ha previsto l'installazione dei primi jet fan VE (Figura 22) nelle nuove gallerie della Variante di Valico (A1 FI-BO) e nella Galleria di Base; più di 400 di queste macchine, costruite in una particolare versione più semplificata, sono attualmente in fase di installazione sulla SA-RC. ■



Figura 22 - La fase di test di un Ventilatore Elettronico

* Ingegnere Amministratore di Geotunnel Srl

** Ingegnere Area Manager di Zitron S.A.

*** Geometra Responsabile Ventilazione Zitron Italia di Geotunnel Srl

**** Ingegnere Amministratore Delegato di Italoiberica