

Bologna, 17, 18 e 19 ottobre 2013

Il centro sperimentale “San Pedro de Anes” per prove al fuoco sui ventilatori in reali condizioni di incendio ed il banco di prova Zitron

Massimiliano Bringiotti⁽¹⁾, Francesca Serra⁽¹⁾

⁽¹⁾GeoTunnel S.r.l., Genova, Italia

ABSTRACT: Il Centro Experimental “San Pedro de Anes” della Fondazione Barredo nasce per rispondere alle esigenze da parte delle Imprese impegnate nel mondo delle gallerie e delle miniere, di avere un partner dedicato alla costante ricerca, test e sviluppo sui materiali e sulle metodologie per prevenire, affrontare e gestire le situazioni di incendio e pericolo in sotterraneo. La Zitron, società Spagnola specializzata nella progettazione e realizzazione di impianti di ventilazione nel settore minerario, nelle gallerie in fase di esecuzione e nel campo della ventilazione definitiva di opere in sottosuolo quali gallerie stradali e metropolitane, in collaborazione con le autorità regionali Asturiane, del governo centrale di Madrid e della Comunità Europea, ha contribuito sensibilmente nella creazione ed allo sviluppo di questa nuova Istituzione conosciuta ormai a livello internazionale. Il Centro Sperimentale “ San Pedro de Anes” si estende per 142.000 m² nel Comune di Siero, nella regione dell'Asturia, al nord della Spagna, vicino all'autostrada AS-1, e dista solo 22 km da Oviedo e 15 km da Gijón. Il centro è stato costruito in una zona prima occupata dalla stazione ferroviaria di San Pedro, che era una parte della vecchia stazione usata per trasportare il carbone estratto dalle miniere del bacino di Langreo al porto di Gijón. La TST – Tunnelling Safety Testing – è la società che gestisce in regime di concessione tale sito ed è in grado di eseguire prove in scala 1:1 di funzionamento di ventilatori in condizioni di incendio reale.



Figura 1. Il sito del Centro “San Pedro de Anes”

1 La Struttura

Il Centro (**Fig. 1**) comprende una galleria di ventilazione lunga 540 m e due stazioni di collaudo, la prima con circuito di ricircolo per testare l'installazione di ventilatori tipo Trasversali e Semi-trasversali e la seconda per testare i motori dei ventilatori in condizioni di alta temperatura. Vi sono inoltre fabbricati di appoggio quali uffici amministrativi e stazione di trasformazione dell'energia elettrica (**Fig. 2**)



Figura 2 . Vista d'insieme del centro sperimentale

2 Le Attività

Le principali attività svolte presso questo centro sono test funzionali sui ventilatori quali:

- Test operativi su ventilatori standard o speciali
- Test degli schemi operativi basati sui jet -fan
- Test sui sistemi di ventilazione trasversale e semi-trasversale

Inoltre Test sulla resistenza ad alte temperature e alla fiamma condotti su:

- Ventilatori
- Griglie e serrande
- Safe Havens
- Impianti di sicurezza speciali: segnali, controlli....
- Componenti strutturali: calcestruzzo...
- Pavimentazioni e coperture in genere
- Volte e camini per il fumo

E Test al Fuoco quali (**Fig. 3**):

- Verifica dei sistemi di estrazione del fumo
- Verifica di programmi di modellazione numerica
- Test sui sistemi di estinzione dell'incendio
- Verifica delle strategie di evacuazione e degli allarmi

Istruzione ed addestramento del personale dei Vigili del Fuoco, Protezione Civile, Addetti alla Sicurezza....



Figura 3. Prova di incendio in scala reale

3 Il tunnel di prova

Il tunnel dove vengono eseguiti i test è una galleria artificiale costruita in calcestruzzo, di dimensioni equivalenti ad una strada a due corsie e per mitigare il più possibile l'impatto visivo dalle zone circostanti il lato ovest della galleria è stato ricoperto con materiale da riempimento la cui superficie è stata trasformata a prato!

I principali dati sono (Fig. 4):

Lunghezza:	540 m
Larghezza:	9,50 m
Altezza:	8,12 m
Sezione trasversale (senza soffitto)	66 m ²
Minimo raggio:	400 m
Inclinazione longitudinale:	1 %
Inclinazione trasversale:	2 %
Galleria d'emergenza:	4 m di larghezza per 2,60 m di altezza
Uscite di sicurezza:	3 (una ogni 150 m)

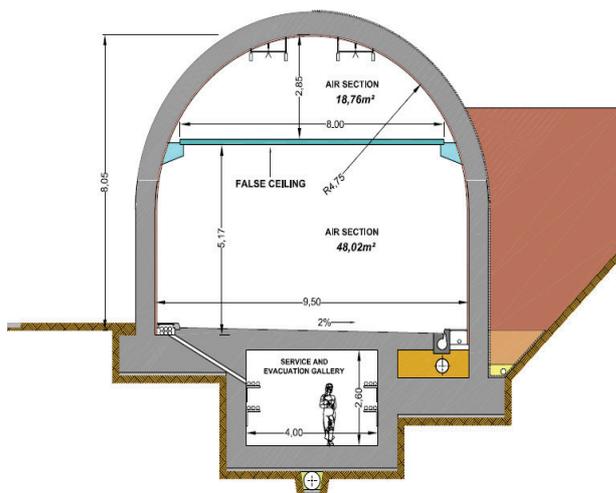


Figura 4. Vista in sezione della galleria di prova

Al di sotto del tunnel principale è stata costruita una galleria di evacuazione larga 4 m ed alta 2,6 m; viene utilizzata anche come luogo di posa di cavi elettrici per i servizi della galleria stessa.

- ventilazione in aspirazione,
- ventilazione in fase di scavo (cul de sac).



Figura 6. Vista del portale di uscita e della centrale di ventilazione

La galleria di ventilazione è stata progettata quindi per avere la massima flessibilità operativa, affinché ogni sistema di ventilazione possa essere collaudato (**Fig. 7**):

- Longitudinale
- Semitrasversale
- Sistema misto
- Saccardo

Le attrezzature principali sono:

Ventilazione longitudinale

- 14 ventilatori a getto da 45 kW

Ventilazione semitrasversale

- 2 ventilatori assiali reversibili e con velocità variabile ognuno da 355 kW, con una capacità totale di 160 m³/sec.
- Soffitto removibile artificiale.
- 11 serrande di estrazione di 12 m² a sezione trasversale.

Saccardo

- 2 ventilatori assiali da 335 kW (iniezione) e 315 kW (estrazione) entrambi con un flusso dell'aria da 120 m³/sec.

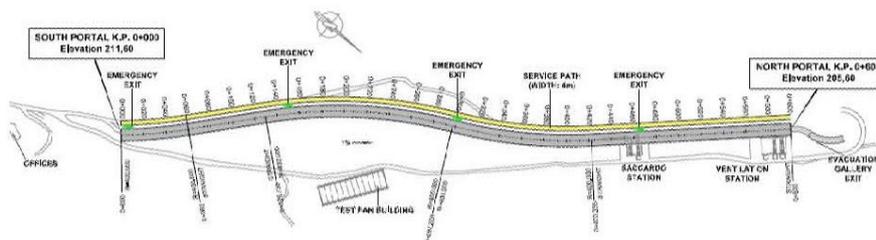


Figura 7. Vista in pianta della galleria sperimentale

4 Rilevamento e monitoraggio dei dati durante i test

Un sistema di acquisizione e controllo dei dati è installato lungo la galleria (**Fig. 8**); viene usato per registrare i dati inviati dalle strumentazioni durante i collaudi e per controllare i diversi sistemi di ventilazione. Tale impianto è costituito da n°13 punti di monitoraggio e controllo (EMCs) collocati nella galleria di emergenza ogni 40-50 m più 2 punti situati sulle stazioni di ventilazione principale. Tutti i sistemi sono collegati al centro di controllo attraverso una linea di fibre ottiche.

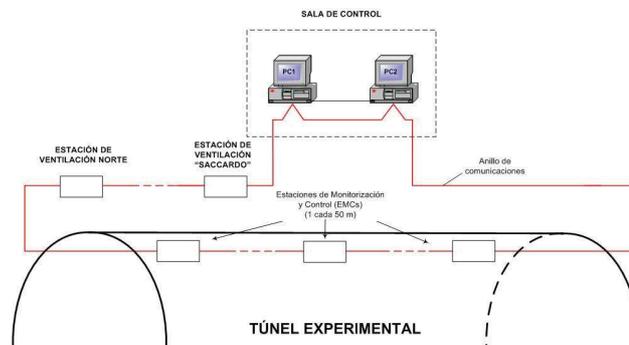


Figura 8. Sistema di acquisizione dati

Ogni EMC è connesso a strumenti e telecamere verso la sala di controllo con ingressi analogici e digitali.

Gli EMC recepiscono i dati attraverso una serie di links del tipo RS-422/485, entrambi attraverso le connessioni Ethernet 10/100 BaseTX RJ-45, sotto TCP/IP con il protocollo MODBUS.

Gli EMC sono collegati alla stazione centrale tramite fibre ottiche; i dati vengono comunicati tramite il sistema 100 Base FX in un circuito chiuso a 100 Mbps ed è usato il protocollo MODBUS TCP/IP. Le linee libere delle fibre ottiche sono disponibili nel circuito, per ogni eventuale sensore o applicazione aggiunta. Il sistema si basa su 2 computers indipendenti connessi attraverso un network locale, con una fornitura di potenza ininterrotta di 10 kVA. I dati sono riportati sul display e registrati usando una applicazione software denominata SCADA (iFIX professional) (**Fig. 9**).



Figura 9. Esempio di visualizzazione dei dati con il sistema SCADA

5 Stazione di prova ad alta temperatura per ventilatori

Vengono inoltre realizzate prove su ventilatori in fase di funzionamento in presenza di elevate temperature nell'intorno della macchina, test che si esegue sui classici jet fan utilizzati per la ventilazione delle gallerie in fase di esercizio (posti in calotta longitudinalmente alla via di marcia), ed elevate temperature dei fumi veicolati, test che si esegue sulle macchine adibite alla aspirazione dei fumi provocati dall'incendio (classiche macchine che vengono installate nei camini di ventilazione delle metropolitane).

Dal punto di vista normativo le prove che vengono richieste devono generalmente garantire il funzionamento della macchina, mantenendo le prestazioni di progetto, soddisfacendo uno dei tre seguenti range operativi:

- 200° C per 2 ore,
- 250° C per 2 ore e
- 400° C per 2 ore.

La Zitron ha eseguito con successo test a 600°C per due ore su alcuni nuovi modelli di ventilatori.

La stazione di collaudo dei ventilatori (**Fig. 10**) si trova in un'area di 1.200 m² e comprende una camera di combustione per il collaudo ed un circuito per la circolazione dell'aria calda.

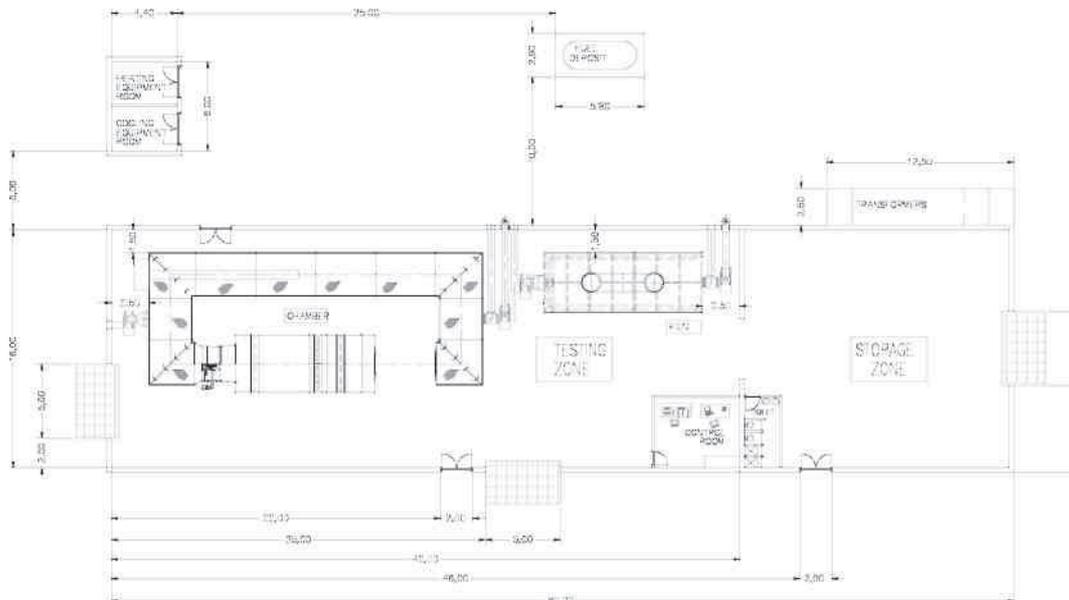


Figura 10. Layout degli impianti di prova al fuoco dei ventilatori assiali e dei jet fan

Gli impianti si trovano in una recinzione di 10,66 x 4,16 m e 3 m di altezza. Tutte le strutture sono adeguatamente protette dall'interno; è presente un sistema di circolazione dell'aria ed un sistema di bruciatore di gas con una potenza di 1.400 kW.

5.1 Circuito di ricircolo dell'aria

Il banco di prova con ricircolo di aria è l'impianto più appropriato per testare un ventilatore in condizioni di ventilazione trasversale o semi-trasversale. Solo l'aria passante nel ventilatore e non quella circostante viene scaldata; così come le norme prevedono, il banco prova rispetta la direttiva EN 12101-3 (**Fig. 11**). L'obiettivo del test è quello di far lavorare il ventilatore al suo teorico punto di funzionamento, per un tempo determinato, in un circuito chiuso, ad una determinata temperatura. Il ventilatore lavorerà alla temperatura atmosferica per un'ora; in seguito la stessa verrà incrementata come da specifiche e in accordo con la sopraccitata EN 12101-3. Durante il test la temperatura delle diverse parti del circuito, quella del ventilatore, la portata, la pressione statica ed il consumo energetico assorbito saranno misurati.



Figura 11. Banco di prova con ricircolo dell'aria

5.2 Camera di combustione

La camera di combustione (**Fig. 12**) è usata per collaudare i motori dei ventilatori che in caso d'incendio saranno completamente esposti ad alte temperature, come nel caso dei ventilatori a getto. Anche in questo caso il ventilatore lavorerà alla temperatura atmosferica per un'ora e dopo verrà incrementata ogni 5-10 minuti come da specifiche e sempre in accordo con la EN 12101-3. Durante il test la temperatura delle diverse parti della camera di combustione, quella del ventilatore, la portata, la pressione statica ed il consumo energetico assorbito saranno misurati.



Figura 12. Camera di combustione

5.3 Criteri di validazione del test

I risultati del test verranno considerati accettabili solo se il ventilatore sarà in grado di rispettare alcune condizioni meccaniche ed aerodinamiche.

- Condizioni meccaniche

La struttura del ventilatore, unitamente alla parte elettrica, deve sopportare senza alcuna problematica strutturale o prestazionale, l'incremento improvviso di temperatura ed il suo mantenimento per il tempo previsto (da 2 a 4 ore, naturalmente) ai valori di test (da 200 °C a 600 °C).

- Condizioni aerodinamiche

Durante l'intera durata della prova la fluttuazione della portata d'aria del ventilatore deve essere minore del 10%. La portata d'aria all'interno del banco di prova è determinata misurando la differenza tra la pressione totale e quella statica. Queste misure devono essere eseguite quando il circuito è chiuso; normalmente la sequenza operativa è la seguente: la prima misura di portata viene effettuata quando il circuito è chiuso ed è operativo alla temperatura ambiente. Questa misura deve essere presa prima che il circuito venga aperto ed il ventilatore incominci a lavorare a temperatura ambiente. Una volta che si è raggiunta la temperatura di prova, la portata d'aria viene misurata ogni 5 minuti durante tutto il periodo di test. Solo quando i test avranno validato i ventilatori potranno essere utilizzati in piena sicurezza (**Fig. 13**).



Figura 13. Autostrada Catania-Siracusa, Pizzarotti & C S.p.A., ventilatori collaudati ed installati

La Zitron è una delle poche società al mondo che ha messo a punto un tale banco prova finalizzato a studiare il reale comportamento di un ventilatore sotto condizioni di temperatura estrema. In funzione delle nuove regolamentazioni europee (alcune delle quali in fase di implementazione) in materia di sicurezza in galleria, Zitron ha progettato e costruito ventilatori che sono stati testati (ed installati) al fine di valutare il loro reale comportamento a 400 °C (Fig.14) per un tempo di permanenza pari a 2 ore; sono in corso test di funzionamento a temperature maggiori di 600°C.



Figura 14. Test a 400° C eseguito per Autostrade per l'Italia S.p.A. – 1° lotto del nuovo tracciato della Variante di Valico, Autostrada FI-BO

6 Test aerodinamici per i ventilatori assiali

I ventilatori di elevata potenza vengono normalmente costruiti sulla base delle necessità del progetto che li richiede; parliamo infatti di camini di estrazione dei fumi in ambito minerario (quali il progetto della Irasco di Genova, Tabash mine, ove sono state installate tre stazioni da 2x630 kW) oppure di ventilazione di lunghe gallerie di valico quali il progetto del Gotthard Alp Transit, Fig. 15, ove Impregilo ha installato all'imbocco 2 macchine della potenza di 800 kW ed una in serie avente 3,2 m di diametro.



Figura 15. TAT – Gotthard Alp Transit I° fase

Infatti, in funzione del dimensionamento impiantistico, dopo avere definito le prestazioni necessarie (prevalentemente in quanto a portata e pressione d'aria), le Società costruttrici di ventilatori provvedono a progettare la macchina (o la serie di macchine) idonea a quel determinato compito. Normalmente la macchina, una volta costruita, viene inviata al Cliente senza avere la possibilità di testarla alla piena potenza, proprio a causa delle difficoltà tecniche dovute alle sue dimensioni, alla potenza installata ed alle strumentazioni necessarie per rilevare tutti i dati della curva caratteristica che è stata studiata a "tavolino". Normalmente si procede solo a delle prove o su modelli in scala oppure facendo funzionare la macchina a regime ridotto ed interpolando i dati che si riescono a rilevare. E' chiaro che costruendo tali attrezzature rimane una "cronica" possibilità di errore e, tale errore, è soprattutto legato all'efficienza energetica (e prestazionale) della macchina in oggetto. Infatti, molte volte ci si concentra sul costo di primo acquisto, ma il valore dell'attrezzatura è nullo confronto ad un punto percentuale in più di efficienza; basti pensare che, a parità di prestazioni, utilizzare una macchina da 1.000 kW, che rimane normalmente in esercizio 24 ore al giorno per tutto l'arco dell'anno, in grado di avere una efficienza di un 1% maggiore di una altra equivalente, comporta un risparmio energetico di ca. 88.000 kWh/anno (nel semplice caso di una galleria a doppio fornice, ove sono installate 20 macchine da 50 kW, la cui potenza complessiva è pari a 1.000 kW, solo che il risparmio energetico dovuto all'1% è pari al valore di acquisto di un ventilatore/anno!; e se la differenza in efficienza è del 4-5% ...?!).

La procedura per garantire il massimo rendimento raggiungibile, seguendo i più recenti dettami della tecnica e della scienza applicabile, richiede di rispettare alcuni elementi importanti:

- Dimensionamento della macchina utilizzando idonei sistemi di calcolo dedicati a tal proposito.
- Realizzazione di un modello fisico-matematico aerulico e suo test virtuale (**Fig. 16**).
- Disegno, scelta dei materiali e costruzione della girante secondo i dati ottenuti.
- Definizione degli ulteriori componenti (motore, cuscinetti, cassa di alloggiamento, cablaggi, silenziatori, appoggi, sistemi antivibrazione, ...).
- Realizzazione della macchina nel suo insieme.
- Test in un banco di prova che sia in grado, regolando la frequenza di alimentazione (sino ad esprimere il massimo della potenza impegnata) e le resistenze del circuito, di restituire tutti i punti di funzionamento in scala reale.
- Verifica e controllo dei dati progettuali.
- Memorizzazione dei dati per l'implementazione successiva del programma di calcolo
- Eventuale modifica costruttiva della girante.
- Nuovo check sul banco di prova

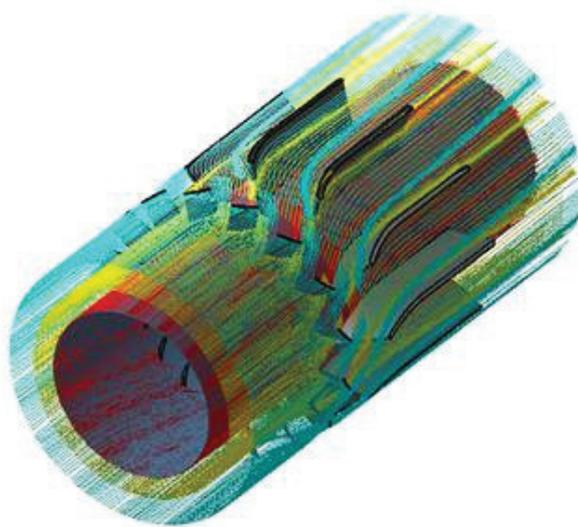


Figura 16. Modellizzazione del flusso

Tale metodologia rappresenta un loop operativo che tende ad ottimizzare la costruzione della macchina e la sua efficienza e rappresenta la garanzia per l'Utilizzatore di avere acquistato un prodotto ai massimi livelli tecnologici raggiungibili. Zitron ha realizzato, a tal scopo, il più grande banco di prova di questo tipo (**Fig. 17**) che il mercato mondiale possa offrire all'Utilizzatore finale.

Tale struttura è stata certificata dall'AMCA (Air Movement and Control Association, il massimo organismo, americano, internazionalmente riconosciuto) ed è in grado di riprodurre le condizioni operative di praticamente qualsiasi situazione reale di un tunnel in fase di scavo; ciò permette la prova di tutti i tipi di ventilatori assiali. I dati di seguito riassunti riflettono alcune delle caratteristiche principali di tale installazione:

- E' una struttura sotterranea in calcestruzzo armato, avente un volume di 5.145 m^3 .
- E' un bunker lungo 100 m, alto 7 m e di sezione pari a $52,5 \text{ m}^2$.
- E' stato realizzato al di sotto del centro produttivo; una piattaforma mobile ed idonei carri ponte sono in grado di posizionare le macchine che devono venire testate in assoluta sicurezza ed efficienza.
- Si possono provare macchine sino ad un diametro di 5,5 m.

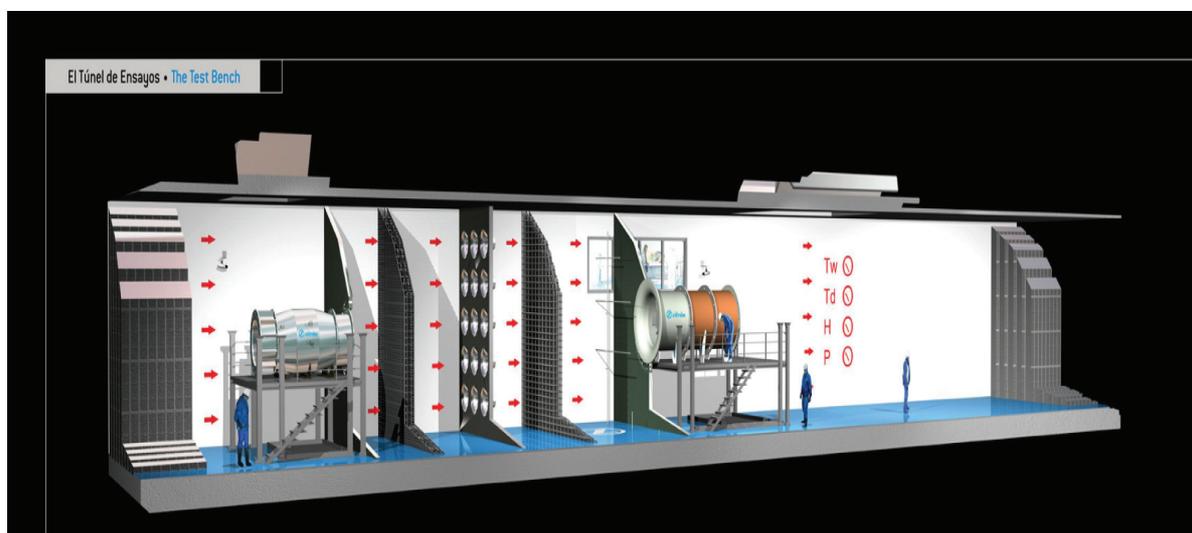


Figura 17. Test bench – Zitron, L=100 m, S=65 m², H=7m, test di ventilatori assiali sino a 5,5 m di diametro e 1,6 MW di potenza

- Sino a 1.600 kW di potenza, da 380 sino a 6600 V.
- E' installata una apposita centrale di alimentazione, munita di variatori di frequenza (50-60 Hz).
- Le procedure di test sono totalmente automatizzate ma la prova è seguibile e controllabile da una centrale di comando posta all'esterno del bunker.
- La portata viene misurata tramite 30 aperture da 400 mm regolabili; ciò permette anche le misurazioni, tramite 16 apposite prese, delle pressioni statiche e delle pressioni differenziali.
- Idonei raddrizzatori di flusso permettono di ottenere una portata stabile, eliminando le turbolenze.
- Sono stati previsti anche idonei sistemi di abbattimento e/o verifica del rumore indotto dalla macchina in prova.
- Un ventilatore ausiliario è installato in prossimità di una estremità del tunnel; i dati tecnici principali sono: 315 kW di potenza, 100% reversibile e 2.600 mm di diametro. Tale macchina serve per simulare, mediante operazioni continue di regolazione del suo funzionamento, le perdite di carico del circuito al fine di poter generare la curva reale di funzionamento della macchina oggetto del test.

7 Test di routine sui ventilatori assiali

I test di routine dovrebbero venire eseguiti sempre su ogni macchina prodotta; essi sono importanti non solo per verificare la funzionalità del ventilatore, ma anche e soprattutto per assicurare all'Utente finale il buon funzionamento e la corretta efficienza dell'attrezzatura.

I classici test di routine sono:

- Prove di spinta, finalizzati a verificare il reale impulso generato dalla macchina.
- Prova di sovraccarico; esiste una speciale procedura (ed uno speciale banco prova computerizzato) di test che viene effettuata su ogni ventilatore che prevede il funzionamento della girante ad una velocità maggiore del 20% della velocità nominale, per un determinato periodo di tempo (funzione della tipologia di macchina).

Normalmente i ventilatori vengono testati in Zitron al 120% della loro velocità nominale per 20 minuti.

- Prova di vibrazione; dopo la fase di equilibratura della girante (si parla di valori inferiori al grammo) le macchine, una volta assemblate, vengono sottoposte ad una prova di vibrazione in grado di verificare che tale livello rientri nei valori prestabiliti.

Chiaramente tutti questi dati fanno parte del protocollo di qualità identificativo della macchina e la rintracciabilità di ognuna di esse è garantita da opportune punzonature numeriche eseguite sui componenti principali della stessa (principalmente girante e motore)

8 Conclusioni

Per le caratteristiche dei suoi impianti e le possibilità di prova, il centro di ricerca sulla ventilazione e gli incendi in galleria "San Pedro de Anes" è unico al Mondo e sarà sempre più punto di riferimento in questo campo.

La varietà dei test lo rende pioniere nella sicurezza delle gallerie e nella possibilità di verificare in scala reale le situazioni di pericolo facendo progredire sempre più uomini, mezzi e soluzioni tecnologiche.

La Zitron, in quanto a partner tecnologico della Fondazione Barredo, è stata la Società principale attrice dalla nascita di questo "Parco Tecnologico" di eccellenza nel campo della ventilazione.

A sua volta ha ingegnerizzato e costruito il "test bench" più importante al mondo, garantendo la qualità dei suoi prodotti anche per installazioni aventi diametri e potenze particolarmente rilevanti.

9 Bibliografia

Bringiotti M., Suarez J. Parodi G.P., *Rendimento, Sicurezza ed Efficienza nei moderni impianti di ventilazione – La Zitron ed il Centro di Prove e Ricerche sulla ventilazione più moderno al mondo*, Convegno SIG "Le gallerie nelle grandi opere di comunicazione e di servizio – Il cantiere e le problematiche", SAIE 2006 Bologna

Bringiotti, M., Suarez, J. Parodi G.P., *Rendimento, Sicurezza ed Efficienza nei moderni impianti di ventilazione*, 2007. N°2 Strade e Autostrade, EDI-CEM

Bringiotti, M., Suarez, J. Parodi G.P., Lanciano M., *L'applicazione di nuove tecnologie per la progettazione, l'ottimizzazione e la validazione di un impianto di ventilazione in galleria*, 2011, N°2 Strade e Autostrade, EDI-CEM