



**Università Politecnica delle Marche**  
**Dipartimento di Energetica**  
**Gruppo di Termofluidodinamica**  
(Responsabile: Prof. Ing. Renato Ricci)



Dipartimento di  
Energetica

## **Termofluidodinamica applicata ai Sistemi Energetici**

**3 Dicembre, 2010**  
**Ancona**

UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

### **Gruppo di Termofluidodinamica**

#### **Prof. Ing. Renato Ricci**

Ordinario di Fisica Tecnica Ambientale - Responsabile Scientifico; [ricci@univpm.it](mailto:ricci@univpm.it); 071 2204758

#### **Sig. Gaetano Borrelli**

Tecnico - Responsabile Tecnico; [g.n.borrelli@univpm.it](mailto:g.n.borrelli@univpm.it); 0712204438

#### **Ing. Andrea Crivellini**

Ricercatore di Fluidodinamica - Responsabile Fluidodinamica Computazionale; [a.crivellini@univpm.it](mailto:a.crivellini@univpm.it); 071 2204436

#### **Ing. Sergio Montelpare**

Tecnico Laureato - Responsabile Gallerie del Vento; [s.montelpare@univpm.it](mailto:s.montelpare@univpm.it); 071 2204235

#### **Ing. Alessio Secchiaroli**

Assegnista di Ricerca - Fluidodinamica Computazionale; [a.secchiaroli@univpm.it](mailto:a.secchiaroli@univpm.it); 071 2204359

#### **Ing. Giuseppe Di Giovine**

Borsista - Tecnico di Galleria di Vento; [g-digiovine@tiscali.it](mailto:g-digiovine@tiscali.it); 071 2204235

#### **Ing. Valerio D'Alessandro**

Dottorando di Ricerca in Energetica - Fluidodinamica Computazionale; [v.dalessandro@univpm.it](mailto:v.dalessandro@univpm.it); 071220 4359

#### **Ing. Enrico Renzi**

Dottorando di Ricerca in Energetica - Aerodinamica Sperimentale; [e.renzi@univpm.it](mailto:e.renzi@univpm.it); 071 2204764

#### **Ing. Roberto Romagnoli**

Dottorando di Ricerca in Energetica - Trasmissione del calore; [r.romagnoli@univpm.it](mailto:r.romagnoli@univpm.it); 071 2204764

#### **Ing. Pierpaolo Garofalo**

Dottorando di Ricerca in Energetica - Analisi Previsionale di Parchi Eolici; [p.garofalo@univpm.it](mailto:p.garofalo@univpm.it); 071 2204235

#### **Ing. Daniele Vitali**

Dottorando di Ricerca in Energetica - Energia Eolica; [d.vitali@univpm.it](mailto:d.vitali@univpm.it); 071 2204636



## Principali attività

### 1. Energetica

- **Progettazione ed ottimizzazione di sistemi mini-eolici ad asse verticale**
  1. Palo di illuminazione alimentato da fonti rinnovabili (eolica e solare) ad elevata integrazione architettonica
  2. Studio e Progettazione di turbine ad effetto Tornado
- **Progettazione ed ottimizzazione di sistemi mini-eolici ad asse orizzontale**

### 2. Calcolo Scientifico e Tecnico

### 3. Scambio Termico

### 4. Sistemi di Testing



3

## Palo di illuminazione alimentato da fonti rinnovabili

All'interno del bando INDUSTRIA 2015 è stata eseguita la progettazione ed ottimizzazione aerodinamica di **rotori Savonius** inseriti all'interno di un palo di illuminazione alimentato da fonti rinnovabili (eolica e solare) ad elevata integrazione architettonica



4

## Palo di illuminazione alimentato da fonti rinnovabili

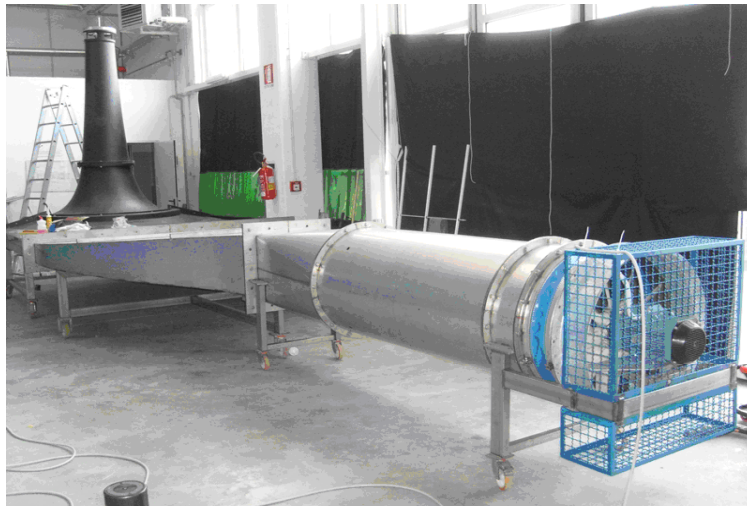


Galleria del Vento Ambientale dell'Università Politecnica delle Marche



5

## Studio e Progettazione di Turbine ad Effetto Tornado



Il **Tornado-Like** è una mini turbina eolica ad asse verticale di nuova concezione la cui forma geometrica è concepita in modo conforme ad una soluzione analitica delle eq. di Navier-Stokes.

Il sistema **Tornado-Like** esternamente si compone di tre parti principali:

- Base
- Gonna
- Camino

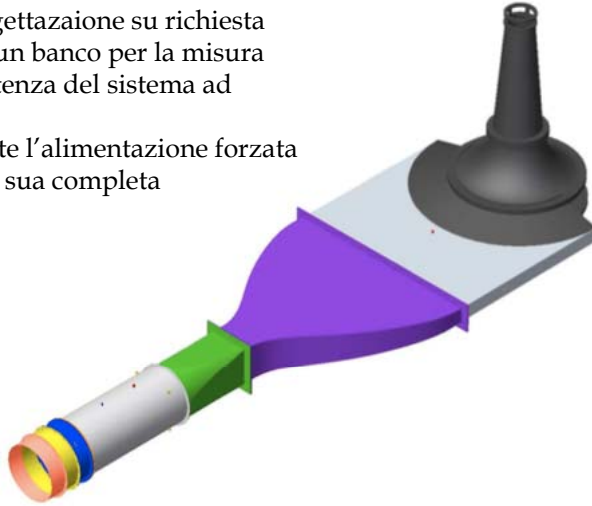
**WESTERN CO.**  
ELECTRONIC EQUIPMENTS - SOLAR SYSTEMS



6

Il gruppo ha progettato su richiesta del committente un banco per la misura delle curve di potenza del sistema ad effetto Tornado.

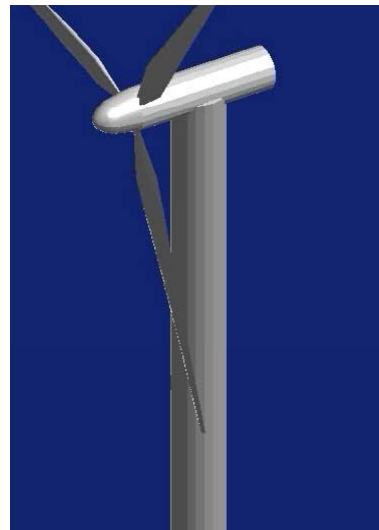
Il sistema permette l'alimentazione forzata del macchinario e la sua completa caratterizzazione



### Progettazione di mini-turbine eoliche ad asse orizzontale

Nel settore delle turbine ad asse orizzontale è in corso la progettazione di una turbina innovativa di piccola taglia. A tal scopo si sta sviluppando internamente un codice di calcolo aeroelastico basato su modelli aerodinamici non stazionari e le teorie dell'analisi modale.

Il codice può essere anche accoppiato a modelli di calcolo di ordine superiore per la previsione di produttività della singola macchina.



## Principali attività

### 1. Energetica

### 2. Calcolo Scientifico e Tecnico

- Stima di producibilità di parchi eolici e previsione delle caratteristiche anemologiche di siti di interesse eolico
- Studio di turbine eoliche ad asse orizzontale e verticale
- Progettazione di nuove forme alari e palari
- Sistemi di raffreddamento a separazione termica: effetto Ranque-Hilsch
- Sviluppo di nuovi dissipatori di calore per il controllo termico di dispositivi elettronici
- Sviluppo di solutori fluidodinamici ad elevato ordine di accuratezza

### 3. Scambio Termico

### 4. Sistemi di Testing



9

## Calcolo Scientifico e Tecnico

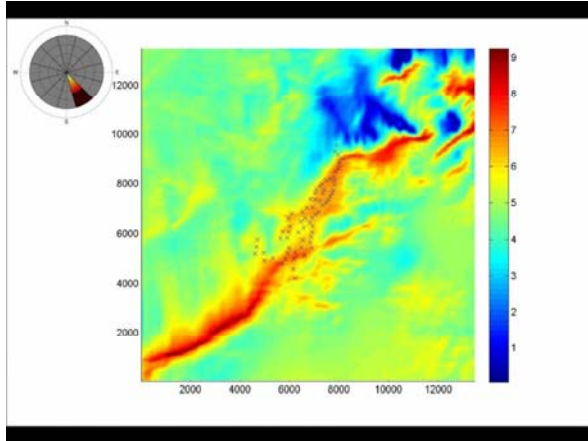


Nel campo del calcolo il gruppo opera su un sistema di calcolo distribuito costituito da macchine di tipo Linux Cluster dotato di:  
**96 core di calcolo AMD-opteron**  
**192 GB di RAM**



10

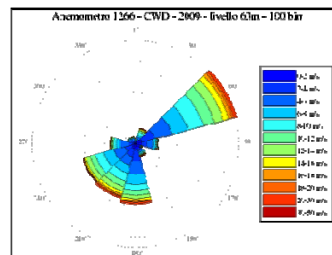
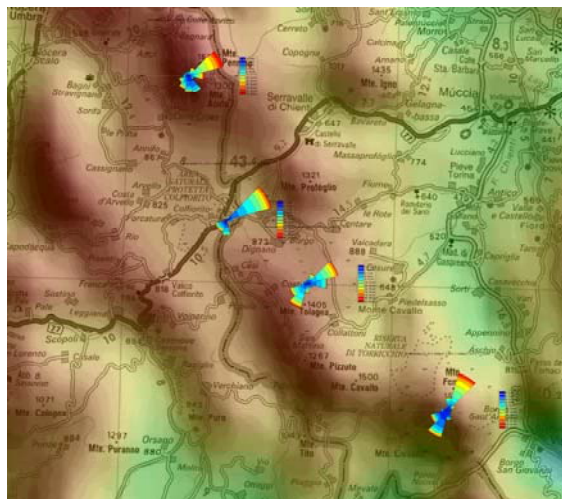
## Energia Eolica



Un'importante attività di calcolo del gruppo riguarda la previsione della producibilità di parchi eolici esistenti attraverso l'impiego di codici meteorologici open-source accoppiati con codici CFD commerciali. In tale settore il gruppo ha collaborazioni con ENEL SpA per la previsione di producibilità a breve termine dei parchi eolici della società; la stessa metodologia previsionale può essere utilizzata anche per la previsione di produzione di parchi fotovoltaici.



## Energia Eolica

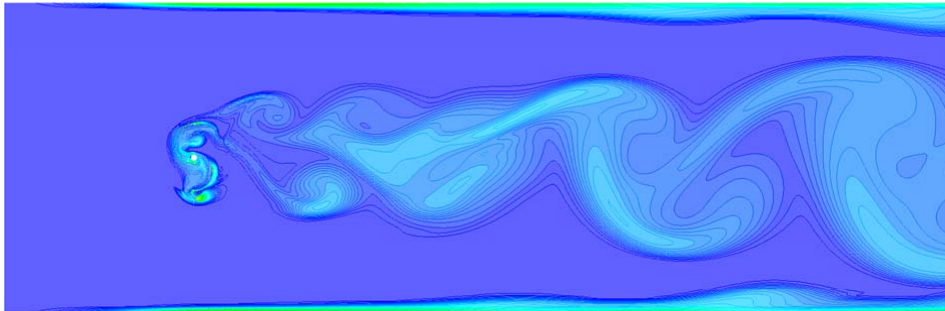


Stima della risorsa eolica in una zona della regione Marche



## Studio di Turbine Eoliche ad asse verticale ed orizzontale

Turbulence Intensity  
0.7 2.0 3.3 4.6  
0.0 1.3 2.6 4.0

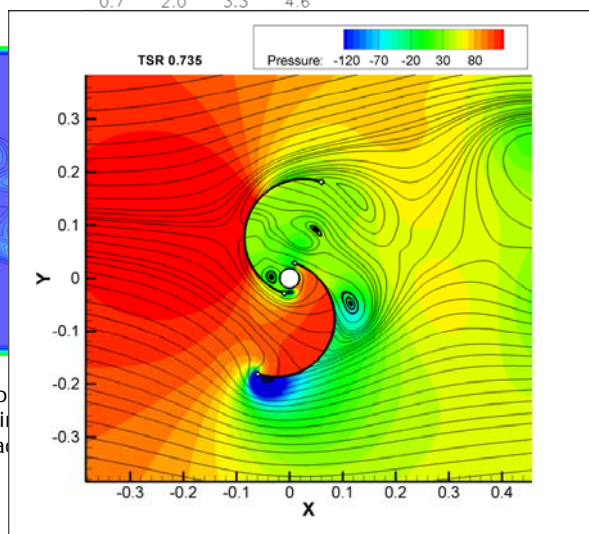
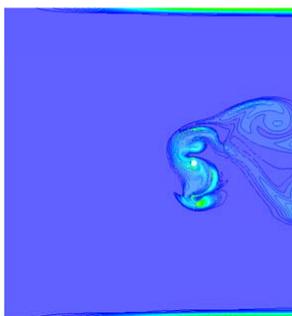


Sono stati messi appunto degli opportuni approcci di calcolo innovativi basati sull'integrazione di codici commerciali e routine sviluppate internamente per l'analisi del campo di moto attorno a turbine eoliche ad asse verticale di tipo Savonius.



## Studio di Turbine Eoliche ad asse verticale ed orizzontale

Turbulence Intensity  
0.7 2.0 3.3 4.6

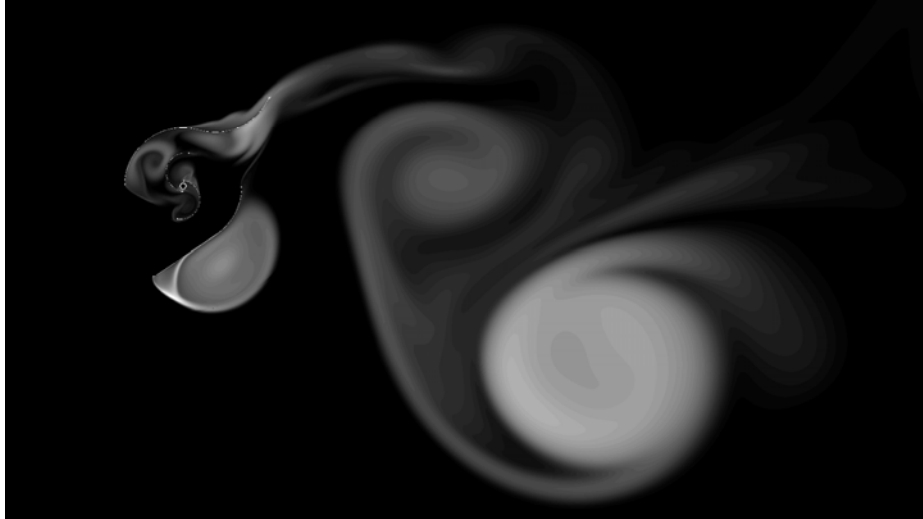


Sono state messe appunto codici commerciali e routine sviluppate internamente per l'analisi del campo di moto attorno a turbine eoliche ad asse verticale di tipo Savonius.

zione di moto

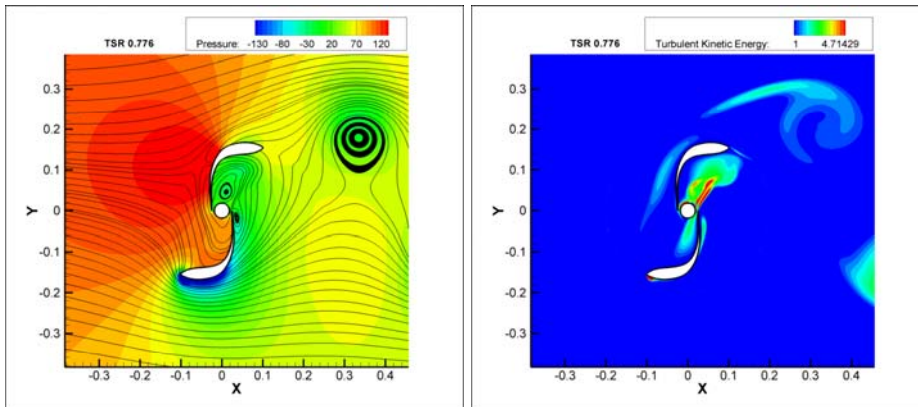


## Studio di Turbine Eoliche ad asse verticale ed orizzontale



15

## Progettazione di nuove forme palari per turbine ad asse verticale



Il gruppo opera da tempo nella progettazione e ottimizzazione di nuove forme alari e palari. Sopra sono riportate delle sezioni palari innovative, derivate da profili presistenti, per turbine eoliche ad asse verticale.

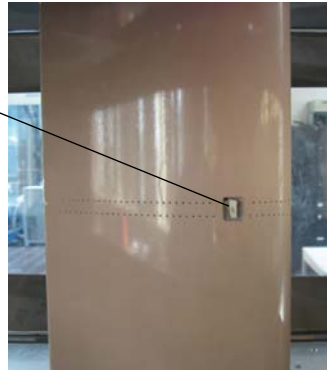
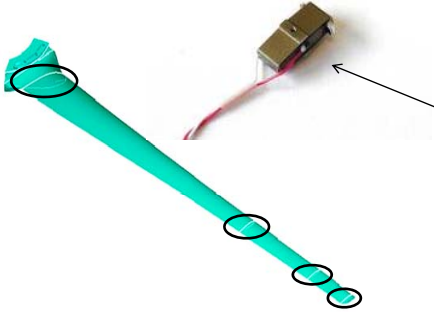


16



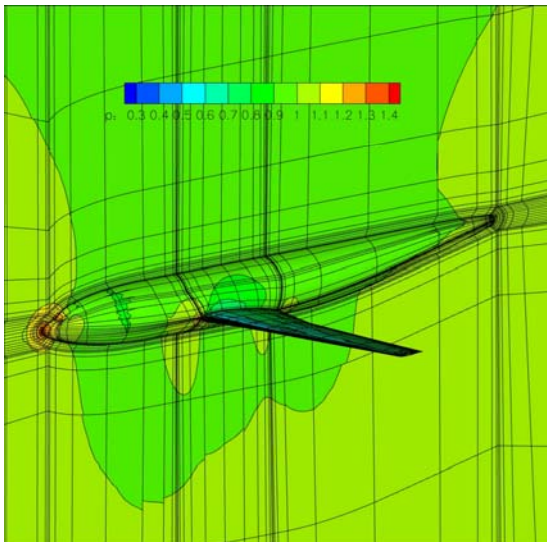
## Progettazione di nuove forme palari per turbine ad asse orizzontale

Sviluppo di sistemi attivi per il controllo dello strato limite su profili alari destinati al mondo dell'energia eolica.  
Progettazione di nuovi profili aerodinamici per applicazioni a turbine eoliche a passo fisso.



17

## Sviluppo di solutori fluidodinamici di elevato ordine



Il gruppo opera nello sviluppo di solutori ad elevato ordine di accuratezza basati sul metodo elementi finiti discontinui di Galerkin.

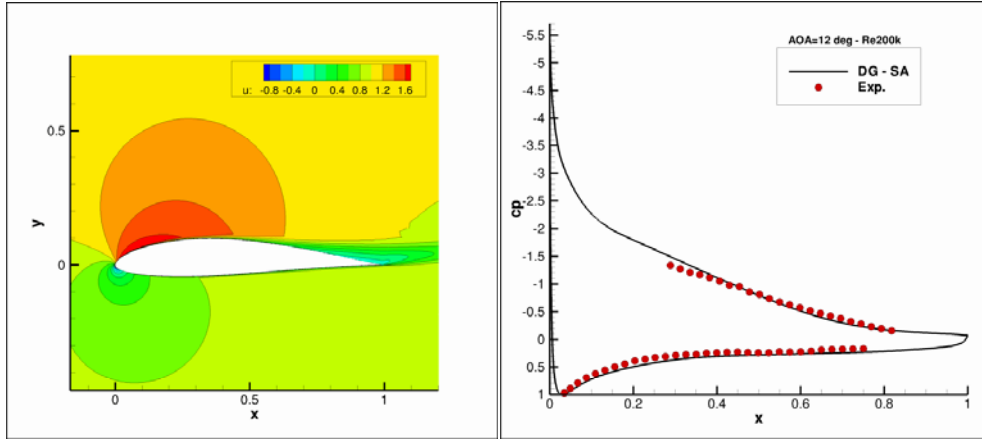
Particolare cura è riservata nell'ultimo periodo allo sviluppo di solutori per flussi turbolenti incompressibili.

Tali codici trovano applicazioni nell'analisi fluidodinamica di profili alari per turbine eoliche.



18

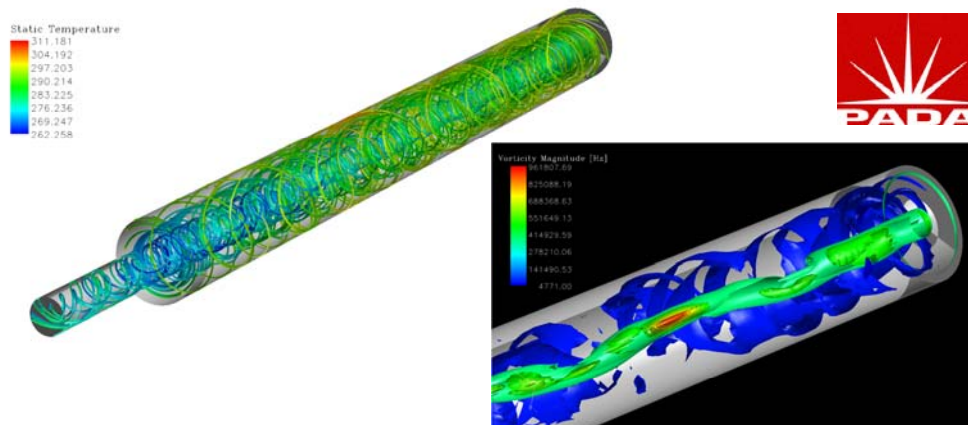
**Sviluppo di solutori fluidodinamici di elevato ordine**



Si riporta il confronto fra le misure effettuate presso la galleria del vento aeronautica dell'Università Politecnica delle Marche e calcoli effettuati con il solutore sviluppato internamente. Il profilo studiato è stato anch'esso progettato internamente.



**Studio di dispositivi di raffreddamento ad effetto Ranque-Hilsch**



I tubi vortice operanti ad effetto Ranque-Hilsch sono dei particolari dispositivi capaci di ottenere due correnti d'aria con caratteristiche termiche profondamente diverse (una molto calda ed una molto fredda) essendo alimentati solo da aria compressa. Il sistema non prevede parti mobili. Sono stati condotti diversi test numerici al fine di comprendere il meccanismo di separazione termica.



## Principali attività

### 1. Energetica

### 2. Calcolo Scientifico e Tecnico

### 3. Scambio Termico

- Studio di dispositivi di refrigerazione ad effetto Ranque-Hilsch
- Tecniche di incremento dello scambio termico convettivo mediante sollecitazione meccanica esterna
- Sviluppo di nuovi dissipatori di calore per il controllo termico di dispositivi elettronici

### 4. Sistemi di Testing



21

## Studio di dispositivi di raffreddamento ad effetto Ranque-Hilsch

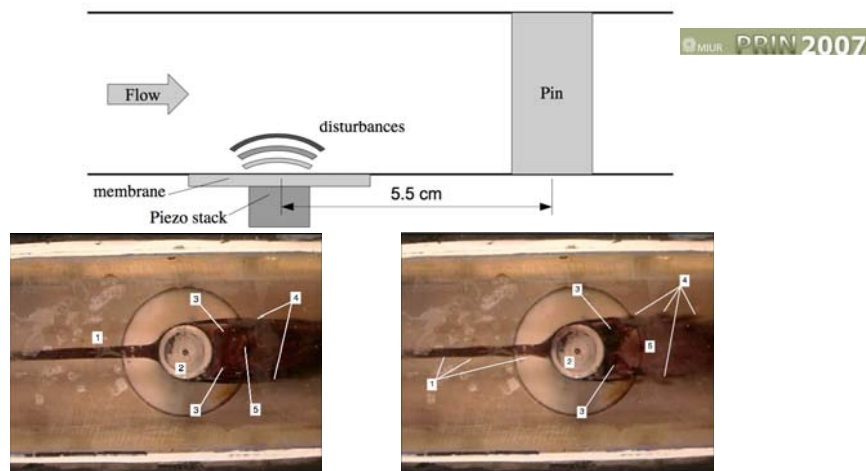


La ricerca sui refrigeratori ad effetto Ranque-Hilsch ha portato alla progettazione di un nuovo sistema miniaturizzato per applicazioni di micro-elettronica ed alla progettazione di una cold-plate ad aria integrata con un sistema Ranque-Hilsch



22

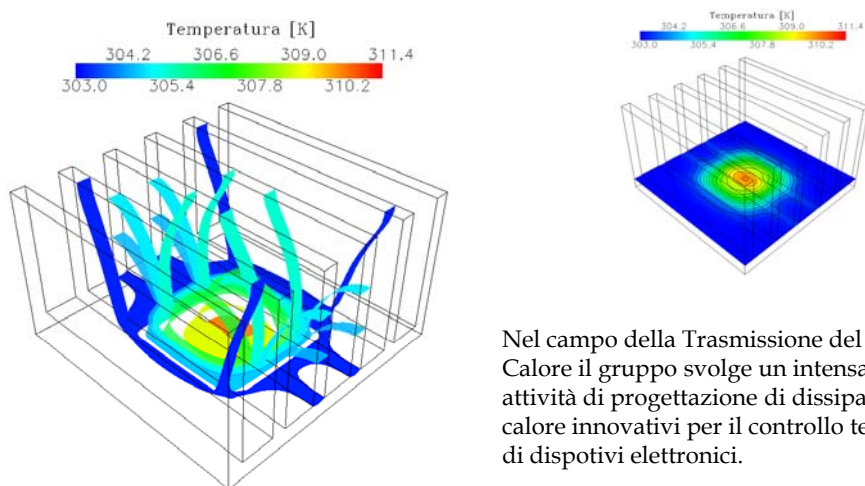
## Tecniche di incremento dello scambio termico convettivo



Sono in fase di studiotecniche per l'incremento dello scambio termico convettivo in scambiatori di calore compatti mediante sollecitazione meccanica esterna; onde ottenere così ottenere sistemi ad alta efficienza di scambio termico ed a basse perdite di carico.



## Sviluppo di dissipatori di calore innovativi



Nel campo della Trasmissione del Calore il gruppo svolge un intensa attività di progettazione di dissipatori di calore innovativi per il controllo termico di dispositivi elettronici.



## Principali attività

1. Energetica

2. Calcolo Scientifico e Tecnico

3. Scambio Termico

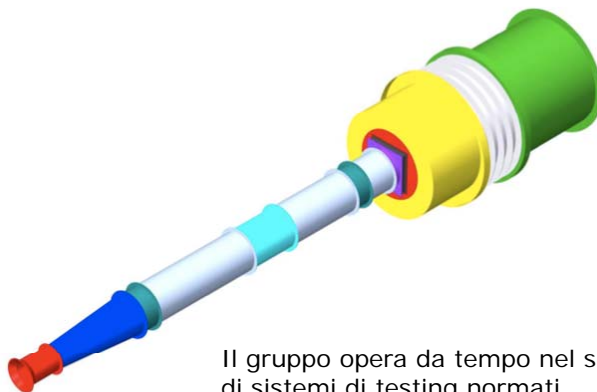
4. Sistemi di Testing

- Banchi prova per ventilatori assiali
- Ottimizzazione fluidodinamica di macchine utensili



25

## Banchi prova per ventilatori assiali

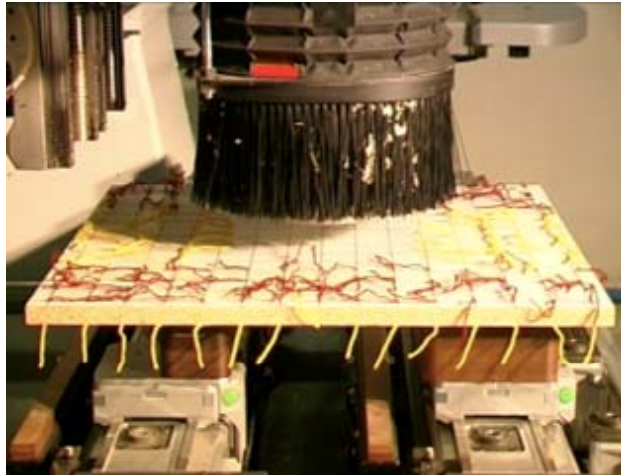


Il gruppo opera da tempo nel settore della progettazione di sistemi di testing normati Per la caratterizzazione di componenti industriali. Viene riportato a titolo di esempio un banco prova per ventilatori assiali



26

## Ottimizzazione fluidodinamica di macchine utensili



**BIESSE**

Sono in corso di analisi sistemi per l'ottimizzazione di alcuni aspetti fluidodinamici di macchine utensili per la lavorazione del legno



27

## Gruppo di Aeroacustica

### Prof. Gianni Cesini

Ordinario di Fisica Tecnica Industriale - Responsabile Scientifico; [g.cesini@univpm.it](mailto:g.cesini@univpm.it) ; 071 2204776

### Ing. Fabio Pierella

Borsista - Responsabile Laboratorio Acustica; [f.serpilli@univpm.it](mailto:f.serpilli@univpm.it) ; 0712204239

### Ing. Valter Lori

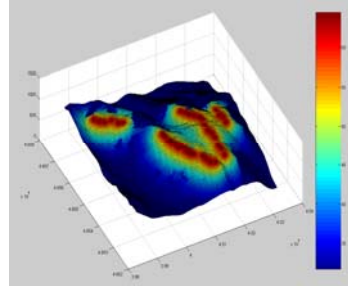
Borsista - Responsabile Laboratorio Acustica [v.lori@univpm.it](mailto:v.lori@univpm.it) ; 071 2204875



28

**Valutazione Previsionale di Impatto Acustico (art. 8 Legge Quadro n. 447/95)**

- Nelle procedure di V.I.A. è obbligatorio fornire indicazioni anche sulle emissioni ed immissioni di rumore al fine della verifica già in fase di progetto dei limiti del DPCM 14-11-1997 - "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore".
- Per effettuare questo tipo di valutazione è necessario procedere prima con una caratterizzazione acustica del territorio "ante-operam" mediante una mappatura acustica delle aree interessate dal nuovo impianto. Attraverso i dati di emissione acustica forniti dai costruttori delle macchine vengono poi effettuate simulazioni sulla propagazione acustica delle sorgenti di rumore; questi processi risultano particolarmente articolati in presenza di territori con orografia complessa (tipico caso di impianti collocati nelle zone appenniniche).
- Dalla sovrapposizione dei dati ottenuti mediante simulazioni numeriche con la mappatura acustica ante-operam del territorio, è possibile ricavare lo scenario acustico ad opera realizzata. Dal momento che la propagazione del suono è influenzata dalle condizioni meteorologiche, è possibile anche effettuare simulazioni acustiche e produrre scenari differenti in funzione della variabilità delle condizioni meteorologiche del sito specifico, con particolare riferimento alla ventosità.



**Analisi acustiche preliminari**

- Caratterizzazione ed ottimizzazione acustica dei singoli componenti di una macchina attraverso misure di intensimetria acustica (Norma ISO 9614). Attraverso queste misure possono essere individuati i componenti maggiormente rumorosi già dalle fasi di preassemblaggio, permettendo così di intervenire direttamente sul prodotto di fabbrica.



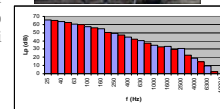
**Valutazione di impatto Acustico (art. 8 Legge Quadro n. 447/95)**

Misure acustiche ambientali per la verifica del rispetto dei limiti del DPCM 14-11-1997 sulle sorgenti sonore in ambiente esterno. Queste misure si rendono necessarie a lavori ultimati qualora in prossimità delle macchine siano presenti ricettori quali abitazioni, scuole, ospedali, ecc. Questo tipo di misure è richiesto come documento obbligatorio di fine lavori da alcuni enti locali (province, ARPA; ecc.)



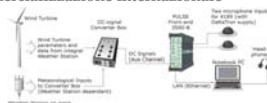
**Valutazione delle caratteristiche di emissione sonora**

Può essere interessante, ad impianto funzionante, misurare le emissioni e le immissioni acustiche sia delle singole macchine che dell'intera wind farm al fine di monitorare i livelli sonori in termini di emissione spettrale. È noto che certe frequenze risultano più disturbanti di altre e quindi uno studio delle emissioni anche in funzione dei ricettori esposti permette di ottimizzare i nuovi modelli di pale nonché di intervenire con migliorie sugli esistenti.



**Misura della potenza sonora emessa dalla singola macchina secondo la IEC 61400-11**

I dati ricavati da questo tipo di misure devono essere inseriti obbligatoriamente dal costruttore all'interno della documentazione tecnica ai fini della commercializzazione internazionale



**Diagnostica e manutenzione predittiva mediante misure acustiche non invasive**

Attraverso misure intensimetriche e di olografia acustica è possibile monitorare anche a distanza le emissioni acustiche in zone localizzate della macchina e a partire da queste, impostare un piano di manutenzione predittiva o effettuare semplice diagnostica sui componenti

