



## LE UNITÀ DI RICERCA

Nel 2011 il MIUR ha approvato il finanziamento al biennio di Ricerca PRIN2009 dal titolo "**Analisi fluidodinamica di turbine eoliche ad asse verticale**" proposta dalla cordata *Università degli Studi di Trento* (Coordinatore e Responsabile dell'Unità: Lorenzo Battisti) con il *Politecnico di Milano* (Responsabile dell'Unità: Vincenzo Dossena) e *l'Università degli Studi di Brescia* (Responsabile dell'Unità: Antonio Ghidoni).



## PRESENTAZIONE DEL PROGETTO DI RICERCA

Oggi il grande bisogno di energia rinnovabile per ridurre le emissioni di gas serra, ha spinto la ricerca a trovare nuovi ambiti di sviluppo per la raccolta di maggiore energia da fonte eolica. L'ambiente urbano per la generazione diffusa e l'energia eolica offshore sembrano essere i più promettenti per il futuro.

I generatori eolici ad asse verticale (VAWT) rappresentano un interessante sistema per le applicazioni di mini e micro generazione di potenza, per l'essere insensibili alla direzione del vento e l'essere in grado di sopportare rapidi cambiamenti di direzione dello stesso, di fornire buone prestazioni nei flussi inclinati, con basse emissioni acustiche, e una migliore integrazione architettonica.

Nel campo delle turbine di classe Megawatt sono in corso studi sulle applicazioni offshore con piattaforme galleggianti, risultando strutturalmente più semplici, eliminando parti in movimento, permettendo la fabbricazione di pale a corda costante tramite pultrusione, offrendo la possibilità di posizionamento del generatore e delle attrezzature accessorie a livello del mare. Si aggiunga la scarsa incidenza della forza di gravità, e le prestazioni aerodinamiche piuttosto insensibili ai movimenti della fondazione.

Tuttavia, il campo di moto che si realizza in prossimità e all'interno dei VAWT è ancora lontano dall'essere compreso a fondo; di conseguenza l'ottimizzazione fluidodinamica dei rotori rappresenta ancora oggi un limite per la diffusione di questa tecnologia su larga scala. La varietà delle geometrie del progetto del rotore, dalla classica geometria Darrieus alle versioni ad H e con elica avvolta, rendono più difficile creare un modello generale del problema.

Sull'immaturità nella modellazione VAWT pesa la mancanza di dati sperimentali sulle caratteristiche del flusso utili per validare nuovi modelli e nuove ipotesi sul comportamento della turbina. Un'accurata ricerca sperimentale è quindi fondamentale per la traduzione di una maggiore comprensione del comportamento fluidodinamico in nuove metodologie progettuali.

Nonostante di recente siano state effettuate alcune campagne di prova sui generatori ad asse verticale, nella maggior parte dei casi i dati disponibili sono stati raccolti in campo aperto con condizioni al contorno non perfettamente note, oppure in gallerie del vento chiuse con fattori di bloccaggio geometrici eccessivamente elevati (maggiori del 5%-10%), senza apportare alcuna correzione per il bloccaggio stesso.

L'**obiettivo generale del progetto** è quello comprendere il comportamento non stazionario delle turbine eoliche ad asse verticale tramite l'indagine fluidodinamica del campo di moto in prossimità del rotore e la valutazione degli effetti dinamico-strutturali indotti dall'interazione fluido-rotore. La comprensione del comportamento passa attraverso la caratterizzazione estensiva della struttura del campo di moto prossimo alla turbina a seguito dell'interazione tra rotore e flusso. Verranno indagati gli effetti tridimensionali dell'interazione tra rotore e flusso e gli effetti fluidodinamici del rotore, con particolare attenzione al rilascio dei vortici alle estremità palari.

Dal punto di vista strutturale verranno valutate le accelerazioni delle pale e della torre e le deformazioni del supporto, al fine di caratterizzare il comportamento elastico della struttura.

Verranno provati due modelli di turbina nella grande galleria del vento del Politecnico di Milano, le cui sezioni di prova permettono di provare in scala reale turbine eoliche per micro-generazione. Nel contesto di queste **prove sperimentali** verrà studiato l'effetto di bloccaggio, per mezzo di prove in camera chiusa ed in camera aperta, saranno studiati i vari aspetti aerodinamici di dettaglio, quali la scia della pala e lo sviluppo del vortice di apice. Misure non-stazionarie saranno applicate in forte vicinanza delle pale, e verranno sviluppate tecniche specifiche per l'elaborazione dati onde identificare il trasporto e il decadimento turbolento delle strutture viscoso rilasciate dalle pale.

Verranno indagate le caratteristiche del campo di moto anche attraverso **codici numerici**. Verrà realizzato un *metodo a vortice a scia libera* corretto per gli effetti 3D che verrà accoppiato ad un modello semplificato della struttura di supporto per l'analisi aeroelastica della turbina eolica. Un'estensiva analisi verrà condotta con *metodi CFD*. È appurato che sono richiesti metodi ad elevato ordine di accuratezza nella simulazione di flussi turbolenti caratterizzati da vortici e scie rotanti, come la struttura del flusso generato da una turbina VAWT. Il lavoro di ricerca si concentrerà sullo studio per mezzo di un codice DG ad elevato ordine di accuratezza per flussi incompressibili instazionari e turbolenti del campo di flusso 2D e 3D che si sviluppa attorno e nella scia di una turbina VAWT.



## **RISULTATI ATTESI DALLA RICERCA, IL LORO INTERESSE PER L'AVANZAMENTO DELLA CONOSCENZA E LE EVENTUALI POTENZIALITÀ APPLICATIVE**

Il gruppo di ricerca si avvale dell'esperienza maturata con la struttura sperimentale del campo eolico di Trento ([www.eolicotrento.ing.unitn.it](http://www.eolicotrento.ing.unitn.it)), dove sono state installate alcune turbine di piccola potenza che hanno prodotto dati sia di natura funzionale che strutturale ed hanno consentito di affinare alcuni strumenti di ricerca teorica e sperimentale negli anni.

Le esperienze progettuali condotte negli ultimi anni dal gruppo di ricerca proponente hanno messo in evidenza un sostanziale ritardo nello sviluppo di metodologie di analisi e progettazione delle macchine ad asse verticale, ritardo che si evidenzia nella scarsa penetrazione di mercato di questa tipologia di macchina, nonostante gli interessanti vantaggi offerti da questa architettura. Tale gap è assai evidente se confrontato con l'analogo settore delle macchine ad asse orizzontale, dove i consolidati metodi progettuali hanno prodotto modelli commerciali praticamente in ogni taglia, da poche centinaia di Watt ad alcuni megawatt di potenza.

Per maggiori informazioni

Laboratorio di Macchine  
Università degli Studi di Trento - Via Mesiano, 77 - 38123 Trento, Italy  
Tel. +39 0461/282553, Fax +39 0461/282599 - e-mail: [eolicotrento@ing.unitn.it](mailto:eolicotrento@ing.unitn.it)

Dall'esperienza maturata negli anni il gruppo di ricerca proponente è giunto alla convinzione che tale ritardo, o immaturità progettuale, è dovuto essenzialmente a motivi di tipo strutturale, ovvero da deficienze nella progettazione meccanica della macchina che ne determina un comportamento instabile e soggetto a malfunzionamenti anche gravi come il collasso strutturale. L'inadeguatezza della progettazione strutturale risiede tuttavia in una non completa comprensione dell'accoppiamento aeroelastico della struttura ed in particolare con il campo di moto intrinsecamente in stazionario creato dal principio di funzionamento della turbina. Ad esso si associa l'effetto della non uniformità spaziale e non stazionarietà temporale del campo di moto che investe la macchina.

Tali aspetti vengono enfatizzati dalla tipologie di macchine ibride della nuova generazione, che installano rotori con flusso perpendicolare al vento su torri. Infatti negli ultimi anni, spinte della richiesta di macchine per ambienti urbanizzati, vengono proposte architetture tipiche delle macchine concepite per le alte potenze (ed estesamente studiate negli anni 70-80) ma installate su torri snelle, per consentire applicazioni di piccola potenza elevando l'altezza delle macchine da terra, che, visto il ridotto sviluppo verticale, sarebbero condizionate da ventosità troppo modeste. Questa soluzione esaspera l'aspetto dinamico dell'interazione rotore torre, dominato dalla presenza di una forte eccitazione di natura centrifuga, in regime variabile, che si accoppia con la parte aerodinamica.

È altresì chiaro per gli esperti del settore, quanto la modellazione aeroelastica della macchina ad asse verticale sia complessa, e su tale tema pochissime siano le applicazioni disponibili. Tuttavia, per determinate geometrie, e per macchine di piccola taglia, sono possibili alcune semplificazioni che consentono di affrontare lo studio della macchina con metodi semplificati ancorché forieri di notevolissimi avanzamenti progettuali. Nel dettaglio l'approccio proposto in questo progetto prevede di effettuare delle misure per valutare se il rotore possa essere trattato come una struttura rigida, considerando solo le deformazioni e gli spostamenti della torre.

Per completare questo avanzamento è necessario analizzare nel dettaglio il comportamento del campo di moto. In precedenti esperienze sperimentali condotte dall'insieme delle unità che presentano il progetto e riportate in bibliografia, è emerso come per le macchine Darreius l'applicazione dei metodi BEM, ancorché a doppio disco, siano largamente insufficienti a modellare efficacemente la macchina, rendendo conto delle enormi discrepanze ancora esistenti fra risultati sperimentali e modellazione teorica. Si citi per tutti l'evidenza di flussi secondari ingeriti dalla macchina attraverso la parte superiore ed inferiore e la loro complessa interazione con i vortici di apice. La modellazione CFD dovrebbe portare un ulteriore contributo nella comprensione di questi fenomeni, aprendo la via ad una migliore definizione delle condizioni al contorno necessarie per il progetto meccanico e la definizione di correlazioni semplici per una più accurata modellazione in fase progettuale.

Si ritiene che i risultati della ricerca proposta porteranno ad un avanzamento delle conoscenze nel settore delle macchine ad asse verticale e la messa a punto di strumenti progettuali accurati ma sufficientemente semplici per migliorare i metodi di progetto di queste turbine. Parte dei risultati, in particolare quelli condotti sulla fluidodinamica del rotore, saranno inoltre trasferibili alla modellazione e studio di macchine di taglia maggiore il cui impiego è di grande interesse per le applicazioni offshore.