

INDICE

Presentazione	4
Motivazioni	6
Definizione di energia eolica	7
Cenni storici	7
Olanda	8
Spagna	9
Evoluzione dei mulini a vento	11
Funzionamento e tipologie macchine eoliche.....	14
Generatori eolici.....	14
Generatore ad asse verticale	15
Generatore ad asse orizzontale	16
Aspetti positivi.....	16
Aspetti negativi	18
Efficienza	19
Costi	20
Aspetti burocratici e normativi	21
Il settore eolico in Italia	23
Importanti impianti eolici italiani.....	24
Brescia e l'energia eolica.....	26
Mappa dei venti italiani	28
Impianti eolici in Italia nel 2010	29
L'eolico cresce nei paesi di sviluppo. La Cina prima al mondo.....	31
Situazione mondiale del mercato dell'eolico	32
L'esperienza di William Kamkwamba	33
Descrizione	37
Il principio di funzionamento	40
Bobine nello statore	45
Accoppiamento di un Alternatore con le Pale.....	46
Lo statore – le bobine e lo stampo di colata	47
Il rotore.....	47
Le bobine	48
La colata	51
Il mozzo	53
Le pale	57
La coda	58

Assemblaggio e bilanciamento del rotore	59
Prove e collegamenti.	60
L'istallazione.....	63
Appendice	64
Lista di materiali e attrezzi.....	Errore. Il segnalibro non è definito.

PRIMA PARTE

Presentazione

Come ogni energia rinnovabile, anche l'energia eolica vanta una storia millenaria che si perde alle origini della civiltà umana e ne accompagna lo sviluppo nel tempo. Già nell'antichità all'energia del respiro di Eolo, era legato uno dei principali mezzi di comunicazione e commercializzazione del tempo: la navigazione a vela e il positivo esito di ogni viaggio, ruolo che ritroviamo, nella letteratura epica, nel celebre incontro tra il Dio del vento e Ulisse nell'Odissea di Omero.

Giove, re degli Dei, aveva affidato a Eolo il governo dei venti. Eolo, quando Ulisse arrivò sulla sua isola, lo trattò in maniera molto ospitale facendosi raccontare le sue eroiche imprese e, quando giunse il momento di partire, gli regalò un otre che conteneva tutti i venti più pericolosi raccomandandogli di non aprirlo per nessun motivo. La flotta ripartì e per nove giorni, con il favore dei venti, navigò tranquilla ed Ulisse non abbandonò per un attimo l'otre. Il decimo giorno, ormai prossimi ad Itaca, Ulisse si addormentò per la grande stanchezza ed i suoi compagni aprirono l'otre pensando che contenesse oro e preziosi ma tutti i venti uscirono violentemente scatenando una tempesta che riportò la nave di nuovo all'isola di Eolo che, molto adirato, non aiutò più Ulisse costretto perciò a riprendere la navigazione con l'animo colmo di angoscia.

*"E all'isola Eolia arrivammo; qui stava
Eolo Ippotade, caro ai numi immortali,
nell'isola galleggiante: tutta un muro di bronzo,
indistrutibile, la circondava, nuda s'ergeva la roccia".*

(Odissea, X, 1-4)

"L'altopiano qui formato precipita a picco sul mare; particolarmente la costa Sud-Ovest consiste in quasi ininterrotta muraglia rocciosa che precipita dall'altezza di più di cento metri a picco sul mare".

*"Mi diede un'otre, che fece scuoiano un bue di nove anni,
e dentro degli urlanti uragani costrinse le strade;
perché signore dei venti lo fece il Cronide,
e può fermare e destare quello che vuole:*

*Nella concava nave l'otre legava con una catenella d'argento,
lucente, che non trapelassero fuori per nulla;
e solo il vento di Zefiro mi mandò dietro a soffiare,
che portasse le navi e noi pure [...]*

(Odissea, X, 19-26)

*"al decimo già si scorgevano i campi paterni,
gli uomini intorno ai fuochi vedevamo, vicini.
Allora il sonno soave mi prese, ch'ero sfinito;
continuamente alla barra ero stato, senza darla a nessuno
dei compagni, perché più presto arrivassimo in patria;
e i compagni parole fra loro parlavano,
e dicevano che oro e argento a casa portavo,
doni d'Eolo magnanimo, figlio di Ippote.*

Così qualcuno diceva guardando l'altro vicino:

*"Vedi come costui è amato e onorato dagli uomini
tutti, dei quali visita contrade e città
Da Troia si porta le molte belle ricchezze
del suo bottino; e noi, fatta la medesima via,
a mani vuote ce ne torniamo a casa.*

Ora poi anche questo gli ha dato per amicizia

*Eolo; presto, dunque, vediamo cos'è,
quant'oro e argento c'è dentro l'otre".*

*Così dicevano e vinse la mala idea dei compagni:
sciolsero l'otre: i venti tutti fuori balzarono,
e all'improvviso afferrandoli, al largo li riportò l'uragano,
piangenti lontani dall'isola patria".*

(Odissea, X, 29-49)

Al di là del mito, è certo che il vento ha da sempre esercitato il suo fascino e ciò è dimostrato dai progetti e dalle più conosciute applicazioni di energia eolica al servizio dell'uomo: i mulini a vento.

Motivazioni

L'IPSIA "F. Moretti" di Lumezzane è impegnato fin dalla nascita nel promuovere la cultura, i valori positivi della scuola confrontandosi con le peculiarità del territorio ValTriumplino che sono fortemente caratterizzati da una naturale spinta propulsiva verso il mondo metalmeccanico ed industriale in generale. In quest'ottica, la qualifica di "Operatore meccanico" che il nostro Istituto rilascia, risulta la rampa di lancio verso le future attività lavorative di noi studenti. Al fine di acquisire le necessarie competenze, la nostra scuola ha scelto di impegnare gli studenti nella progettazione, realizzazione e assemblaggio di pezzi meccanici. Su proposta dei nostri insegnanti, il progetto scelto dalla nostra classe durante l'anno scolastico 2010-2011 quando eravamo iscritti alla IV classe, è stato la realizzazione di una turbina eolica costruita interamente in alluminio con le macchine utensili della nostra officina. Questo progetto inoltre, ci ha fatto approfondire il tema attualissimo delle energie rinnovabili e dell'importanza che il consumo delle risorse sta acquisendo negli ultimi anni. Di questo progetto ci è piaciuto il modo diverso di affrontare lo studio delle materie tradizionali infatti, di tutto quanto realizzato è stato necessario approfondire sia in fase di ideazione che di realizzazione argomenti tecnici che altrimenti avremmo affrontato soltanto in maniera teorica. Giunti quindi al termine di questa esperienza possiamo sinceramente dirci entusiasti di quanto realizzato che inoltre ci ha dato anche una certa "*notorietà*" sui quotidiani a livello provinciale. Ci sono stati anche i momenti di sconforto, quando ad esempio i lavori sono stati rallentati da imprevisti tecnici, ma in generale riteniamo che abbiamo fatto un buon lavoro con ottimi risultati.

Definizione di energia eolica

L'energia eolica è l'energia ottenuta dal vento che viene trasmessa sotto forma cinetica ovvero il prodotto della conversione dell'energia cinetica ottenuta dalle correnti di aria e che è utilizzata in altre energie (elettrica o meccanica). Oggi viene per lo più convertita in energia elettrica tramite una centrale eolica, mentre in passato l'energia del vento veniva utilizzata immediatamente sul posto come energia motrice per applicazioni industriali e pre-industriali (come, ad esempio, nei mulini a vento). Di fatto è stata la prima forma di energia rinnovabile, assieme a quella idraulica, scoperta dall'uomo dopo il fuoco (si pensi alla vele delle navi) ed una tra quelle a sostegno della cosiddetta economia verde nella società moderna.

Cenni storici

L'uomo utilizza la forza del vento da oltre 4000 anni, a parte il suo utilizzo nella navigazione a vela che risale al tempo degli egiziani e dei Sumeri in Mesopotamia che con una vela e una forte brezza scivolavano sull'acqua, esso ha sfruttato questa energia grazie ai conosciutissimi mulini comparsi la prima volta nelle aree considerate la culla della civiltà: Mesopotamia, Cina, Egitto. Si tramanda che già nel 17° secolo A.C. Hammurabi, Re di Babilonia, avesse progettato di irrigare la pianura mesopotamica per mezzo di mulini a vento; essi erano probabilmente costituiti da un sistema ruotante attorno ad un asse verticale. La differenza tra le due applicazioni è sostanziale: nel caso della navigazione si sfrutta la spinta esercitata dal vento su una superficie resistente; nel caso dell'irrigazione va invece realizzato un vero e proprio motore alimentato ad energia eolica che aziona una macchina operatrice, la pompa idraulica. La certezza storica sull'uso dei mulini a vento come macchine di uso corrente risale comunque al 7° secolo D.C., nel regno del califfo Omar I. Per trovarli in Europa occorre invece aspettare il Medioevo, al tempo delle crociate; questi erano del tutto diversi da quelli orientali, di maggiori dimensioni e ad asse orizzontale, tecnologicamente più complessi e con rendimenti più elevati. Il miglioramento fu dovuto alle scoperte sulla dinamica delle vele navali: ci si accorse che sfruttando la portanza (la forza utile perpendicolare alla velocità del vento), anziché la resistenza, si poteva ottenere una quantità maggiore di energia. L'uso di queste macchine si ebbe per le applicazioni più svariate, dal pompaggio dell'acqua, alla macinazione dei cereali, alla spremitura delle olive,

alle industrie manifatturiere (della carta, del tabacco, del legno). Nel corso del XIX secolo entrarono in funzione migliaia di mulini a vento sia in Europa, sia in America, soprattutto per scopi di irrigazione. In seguito, con l'invenzione delle macchine a vapore, vennero abbandonati per il costo del carbone, allora a buon mercato. Negli anni settanta l'aumento dei costi energetici ha ridestato l'interesse per le macchine che utilizzano la forza del vento; così, molte nazioni hanno aumentato i fondi per la ricerca e lo sviluppo dell'energia eolica. Tra il 2000 e il 2006, la capacità mondiale installata è quadruplicata. In Europa, i mulini si svilupparono soprattutto in Olanda, terra ventosa, e in Spagna.

Olanda

I mulini olandesi erano i più grandi del tempo, divennero e rimasero il simbolo della nazione, raccontano molte cose, significati tramandati nel tempo dalla cultura popolare, quasi fossero dei segnali in codice che solo i locali potevano conoscere. Per esempio, per annunciare un lieto evento i mugnai si prodigavano a posizionare le pale in modo tale che queste potessero raggiungere il loro punto massimo (la cd. posizione d'arrivo), nel caso di lutto al contrario, la pala verticale veniva posizionata appena sotto il punto più alto (posizione definita 'andante'). Si pensi inoltre al significato dei messaggi d'allarme o di pericolo in genere che tali marchingegni potevano produrre durante le retate della II Guerra Mondiale. Un codice segreto dei mulini appunto. Come tutti i mulini del mondo anche i mulini a vento olandesi assolvevano al servizio di macina del grano o addirittura delle pietre da utilizzare nella costruzione degli edifici (i mulini a vento di Zaanstad, per esempio, furono usati per l'edificazione del palazzo Dam ad Amsterdam). I mulini a vento in Olanda sono un po' ovunque, la sola Amsterdam ne conta 8, mentre in totale nel territorio nazionale ce ne sono circa un migliaio. In passato l'usanza era infatti quella che portava ogni proprietario di un immobile a costruire un proprio mulino per una specifica funzione, sia essa di macina, di bonifica o difrantoio. Vi potrà capitare quindi di vedere mulini in ogni parte dell'Olanda che visiterete, anche se i più famosi li troverete in particolare in tre zone: i famosi 19 mulini a vento di Kinderdijk (15 km da Rotterdam), costruiti intorno al 1740, situati in un caratteristico paesaggio e inseriti nella lista del patrimonio dell'umanità UNESCO; i mulini a vento di Zaanse Schans, un'area a nord-est di Amsterdam, dove pensate nel XVII secolo esistevano ben oltre 700 mulini a vento; il mulino a vento di De Adriaan nella città di Haarlem , costruito nel 1779, distrutto in un incendio nel 1932 e ricostruito nel 2002.In

Maggio ogni anno si festeggia la “Giornata Nazionale dei Mulini a Vento”, che si celebra intorno all'11 e al 12 maggio. Circa 700 mulini vengono aperti al pubblico, in una giornata didattica dove orgogliosi mugnai insegnano ai visitatori il funzionamento di queste antiche e poetiche costruzioni.

Spagna

Durante il secolo XVI, e per via del dominio spagnolo nei Paesi Bassi, cominciarono ad installarsi i mulini a vento in Spagna, soprattutto nelle zone con scarsità di acqua come La Mancha, il sud est della penisola o le isole, sia le Baleari che le Canarie. I mulini diventarono macchinari indispensabili per l'economia fino alla fine del secolo scorso e ce ne sono stati per il sale, per l'estrazione dell'acqua, ma soprattutto mulini per molare la farina. È questo il caso dei mulini a vento di Formentera. Nell'epoca in cui l'isola era sotto il dominio romano, Formentera era conosciuta con il nome 'terra del grano'. La farina era fondamentale per la sua economia, per questo si costruirono fino a sette mulini di quali cinque sono ancora in piedi e possono essere visitati. Ce ne sono due a Sant Francesco Xavier: il Molí den Mateu del 1773 e il Molí den Gerona del 1760; uno a Sant Ferran, Molí den Tauet de 1760 e due a La Mola, entrambi del 1893: Molí den Simon (di proprietà della Fundació Illes Balears) e il Molí den Botiga, del quale resta solo la torre. Esisteva un altro mulino a Es Cap de Barbaria del quale restano solo i cimenti. Questi mulini, di muratura coperta di calce bianca, generalmente sono a tre piani: il più alto per il macchinario e la pietra per molare, quello centrale in cui si conserva la farina ed il piano terra come magazzino. Il suo tetto conico può essere spostato per orientare le pale al vento più favorevole. Andando da Madrid verso l'Andalucia si percorre la Ruta del Quijote... una strada che attraversa i territori della Mancha, regione ancora dal sapore autentico dove realtà e leggenda si confondono... Lungo la ruota si incontra la località di Consuegra. Qui, possiamo trovare l'inconfondibile profilo dei mulini a vento che dominano dall'alto le pianure della Castiglia. Essi ricordano il celebre capolavoro di Miguel de Cervantes, *“Don Chisciotte della Mancha”* scritto nel 1605 passato alla storia della letteratura. Nel capitolo VIII possiamo leggere la battaglia del condottiero contro di essi, scambiati per smisurati giganti, nel nome della difesa verso i più deboli.

DEL FORTUNATO COMPIMENTO CHE DIEDE IL VALOROSO DON CHISCIOTTE ALLA SPAVENTEVOLE E NON MAI IMMAGINATA AVVENTURA DEI MULINI DA VENTO CON ALTRI SUCCESSI DEGNI DI GLORIOSA MEMORIA.

Ed ecco intanto scoprirsi da trenta o quaranta mulini da vento, che si trovavano in quella campagna; e tosto che don Chisciotte li vide, disse al suo scudiere: «La fortuna va guidando le cose nostre meglio che noi non oseremmo desiderare. Vedi là, amico Sancio, come si vengono manifestando trenta, o poco più smisurati giganti? Io penso di azzuffarmi con essi, e levandoli di vita cominciare ad arricchirmi colle loro spoglie; perciocché questa è guerra onorata, ed è un servire Iddio il togliere dalla faccia della terra sì trista semente. — Dove, sono i giganti? disse Sancio Pancia. — Quelli che vedi laggiù, rispose il padrone, con quelle braccia sì lunghe, che taluno d'essi le ha come di due leghe. — Guardi bene la signoria vostra, soggiunse Sancio, che quelli che colà si discoprono non sono altrimenti giganti, ma mulini da vento, e quelle che le paiono braccia sono le pale delle ruote, che percosse dal vento, fanno girare la macina del mulino. — Ben si conosce, disse don Chisciotte, che non sei pratico di avventure; quelli sono giganti, e se ne temi, fatti in disparte e mettiti in orazione mentre io vado ad entrar con essi in fiera e disugual tenzone.» Detto questo, diede de' sproni a Ronzinante, senza badare al suo scudiere, il quale continuava ad avvertirlo che erano mulini da vento e non giganti, quelli che andava ad assaltare. Ma tanto s'era egli fitto in capo che fossero giganti, che non udiva più le parole di Sancio, né per avvicinarsi arrivava a discernere che cosa fossero realmente; anzi gridava a gran voce: «Non fuggite, codarde e vili creature, che un solo è il cavaliere che viene con voi a battaglia.» In questo levossi un po' di vento per cui le grandi pale delle ruote cominciarono a moversi; don Chisciotte soggiunse: «Potreste agitar più braccia del gigante Briareo, che me l'avete pur da pagare.» Ciò detto, e raccomandandosi di tutto cuore alla Dulcinea sua signora affinché lo assistesse in quello scontro, ben coperto colla rotella, e posta la lancia in resta, galoppando quanto poteva, investì il primo mulino in cui si incontrò e diede della lancia in una pala.

Il vento in quel mentre la rivoltò con sì gran furia che ridusse in pezzi la lancia, e si tirò dietro impigliati cavallo e cavaliere, il quale andò a rotolare buon tratto per la campagna.

L'avventura dei mulini a vento rappresenta in modo esemplare la **follia di Don Chisciotte**, che con la sua immaginazione trasforma l'arida pianura della Mancia in un paesaggio incantato abitato da terribili giganti. La contrapposizione tra la sua **percezione della realtà**, trasfigurata dall'immaginazione, e quella dello scudiero, che inutilmente si affanna ad avvertirlo per riportarlo alla ragione («*Badi bene, sa [...] che quelli là non sono giganti, ma mulini a vento*») è uno dei motivi ricorrenti del testo; esso consente al lettore di «entrare» nel sogno a occhi aperti del protagonista e provare simpatia per la sua strana figura. Anche Sancho Panza genera simpatia, sia quando cerca inutilmente di avvertire il padrone del pericolo a cui sta andando incontro, sia quando si affretta a soccorrerlo dopo la caduta. Lo scudiero rappresenta il **buon senso**, che mitiga e tiene a freno la follia del suo padrone.

Il **finale** dell'avventura ha in sé due temi centrali del romanzo: la **delusione** e l'**inganno**. Don Chisciotte, deluso per l'esito disastroso dello scontro, imputa il suo fallimento a un inganno diabolico del Mago Frestone, che ha perfidamente tramutato i giganti in mulini a vento per impedirgli di conquistare la gloria in battaglia. Ed è Sancho, con la sua rassegnata condiscendenza, ad adeguarsi alle riflessioni del suo padrone sul Mago Frestone e a chiudere il dialogo rimettendosi alla clemenza e alla volontà divina («“Così voglia Iddio nella sua onnipotenza” – rispose Sancio Panza»).

Evoluzione dei mulini a vento

Il primitivo mulino a vento persiano per la macinazione del grano era costituito da un edificio a due piani: nel piano superiore si trovavano le macine e in quello inferiore una ruota azionata da sei o dodici ali atte a prendere il vento, che facevano girare la macina sovrastante. In un primo stadio di sviluppo si introdussero sulle ali dei congegni per controllare la velocità di rotazione, affinché l'eccessiva velocità non producesse troppo calore per attrito, il che avrebbe potuto danneggiare sia il grano sia le macine. In Occidente la prima menzione d'un mulino a vento si trova in un documento normanno, redatto verso il 1180; Fondamentalmente il tipo occidentale era più efficiente poiché là forza del vento agiva senza interruzione sull'intera superficie delle ali, mentre nel tipo persiano solo una parte di tale superficie era attiva a un dato momento. La costruzione era qualche volta molto elaborata, per ottenere la possibilità di girare le ali al vento. L'invenzione del mulino a pilastro cavo, avvenuta in Olanda nel 1430, rappresentò un notevole passo avanti. In esso,

infatti, le dimensioni della struttura rotante sono ridotte erano un albero motore, passando attraverso l'interno del pilastro, azionava il macchinario che stava nella costruzione fissa sottostante. Per far rotare nel vento i mulini a pilastro, anche se ben bilanciati, era necessario un notevole impiego di energia. Per un lungo periodo essi vennero fatti ruotare manualmente, spingendo semplicemente l'estremità di una lunga asta che scendeva dalla struttura girevole superiore verso il basso, quasi fino a terra. Questo lavoro era però molto faticoso, e furono pertanto introdotti presto congegni meccanici, il più antico dei quali fu l'argano, prima semplice e successivamente con meccanismi che potevano essere sistematati su qualcuno dei sostegni infissi nel terreno intorno alla base del mulino a vento. Un importante passo avanti fu compiuto con il mulinello a ventaglio, brevettato da Edmund Lee nel 1745, consistente in una serie di pale, poste all'estremità di un'asta, che azionavano due ruote dentate. Le pale erano poste in modo che, quando il mulino era esposto al vento, questo non esercitava nessuna forza su di esse: quando però il vento mutava di direzione, le pale del mulinello a ventaglio giravano e azionavano le ruote dentate, orientando così automaticamente il mulino verso l'esatta posizione. I primi mulini a vento furono usati per la macinazione del grano e poi per sollevare l'acqua. L'introduzione dei mulini a vento come fonte generale d'energia per l'industria incontrò qualche difficoltà perché si diffuse la paura della disoccupazione, similmente a quanto era avvenuto al tempo dei Romani con la ruota idraulica: per esempio, nel 1768 nel Limehouse una segheria azionata dall'energia eolica venne distrutta dalla folla. E' nell'800 che la tecnologia eolica compie i suoi più importanti passi verso la produzione di energia elettrica. L'introduzione della dinamo, invenzione del belga Gramme, ha un ruolo importante nella fase di modernizzazione di questo modello. Il vero turning point si ha nel 1887 con le sperimentazioni sui diversi modelli di turbina del professore scozzese James Blyth e la costruzione in Ohio, Stati Uniti, della prima turbina eolica del professor Charles F. Brush. Nel 1891 è il danese Poel La Cour, spinto dalla volontà di portare l'elettricità anche nelle campagne della Danimarca a risolvere uno dei principali problemi presentati dall'eolico: come immagazzinare l'energia prodotta. La questione fu risolta tramite elettrolisi, mentre interventi di tipo meccanico, come la diminuzione del numero di pale, il nuovo design a rotazione permisero di dare vita al primo mulino sperimentale Askov, in grado di produrre una potenza costante, ampiamente poi utilizzato nei paesi nordici. La storia dell'energia eolica si intreccia poi con gli studi di aeronautica, focalizzati sul perfezionamento delle eliche e sul potenziamento dei motori. Negli anni '20 si

assiste alla messa a punto della turbina eolica Darrieus, dal nome del suo inventore, la prima ad asse verticale, meglio conosciuta come il “mulino a vento eggbeater”, questo tipo di turbina si riconosce per la tipica struttura simile a quella di un “frullino da cucina”: al rotore (parte rotante di una macchina elettrica) dalla struttura sottile nella parte superiore e inferiore sono fissate a semicerchio delle lame sottili quasi a formare un arco. In uso ancora oggi, questa tipologia di turbina si attiva quando il vento supera i 10 Km orari e può raggiungere velocità superiori a 40 Km. La stabilità è uno dei suoi punti critici quindi viene fermata quando il vento supera i 70 Km orari. Nel 1931 l'ex Unione Sovietica stupisce con la costruzione a Balaclava, in Crimea, di un generatore da 100 KW di grandi dimensioni, 30 metri di altezza torre e una buona efficienza energetica. Ma il primato mondiale viene raggiunto dall'America nel 1941 quando nel Vermont si inaugura la prima turbina megawatt, 1200 KW prodotti opere di Palmer Coslett Putman. Dopo anni di stasi, la crisi petrolifera degli anni '70 riporta l'attenzione sullo sviluppo di energia rinnovabile, come l'eolica, coinvolgendo l'attenzione di importanti enti istituzionali e di ricerca, come la NASA in America. Sostenuti dal governo federale, iniziano gli studi sulle tecnologie multi-megawatt oggi ancora valide e la sperimentazione sul territorio di diverse turbine. Nel 1980 nel New Hampshire, Stati Uniti, si dà il via al primo parco eolico composto da 20 turbine. Nonostante il fallimento di questo progetto, l'America riesce in breve a battere due record: nel 1981 con il 7,5 MW Mod-2 e nel 1987 con la 3,2 MW dimostrando al mondo la possibilità di utilizzare turbine di grandiose dimensione uniche per livelli di produzione energetica. Gli anni '90 sono quelli del primo parco off-shore, nel 1991 a Vindeby, Danimarca, vengono installate 11 turbine da 450KW, on-shore, nel regno unito a Delabole in Cornovaglia, in un agriturismo vengono collocate 10 turbine per produrre energia sufficiente ad alimentare 2700 case. E ancora in questi anni si assiste ad un grande investimento del Regno Unito su questo tipo di energia con l'apertura del O'Doune Braes, parco eolico scozzese in grado di produrre 72 MW di potenza. Il governo britannico ha poi dichiarato di voler raggiungere entro il 2020 l'ambizioso traguardo di soddisfare il fabbisogno energetico domestico attraverso la produzione di energia elettrica eolica e quindi il massiccio investimento in parchi eolici off-shore. Dal vento al mare, gli studi sull'eolico di Darrieus hanno portato in tempi recenti Alexander Gorlov, ingegnere russo, ad applicare lo stesso principio alle turbine sottomarine per produrre nuova energia sfruttando il moto delle onde e delle maree.

Funzionamento e tipologie macchine eoliche

Lo sfruttamento dell'energia, relativamente semplice e poco costoso, è attuato tramite macchine eoliche divisibili in due gruppi distinti in funzione del tipo di modulo base adoperato definito generatore eolico:

- Generatori eolici ad asse verticale, indipendenti dalla direzione di provenienza del vento;
- Generatori eolici ad asse orizzontale, in cui il rotore va orientato (attivamente o passivamente) parallelamente alla direzione di provenienza del vento.

Generatori eolici

I generatori eolici a partire dal 1985 hanno migliorato drasticamente il rendimento, dimensioni e costi. Tali generatori sono riusciti a passare da una produzione di pochi kilowatt di potenza a punte di 3 megawatt per i più efficienti e una potenza installata tipica di mercato pari a circa 1,5 MW, con una velocità del vento minima di 4-5 m/s.

Un generatore sia ad asse verticale che orizzontale richiede una velocità minima del vento (*cut-in*) di 3-5 m/s ed eroga la potenza di progetto ad una velocità del vento di 12-14 m/s. Ad elevate velocità (20-25 m/s, velocità di *cut-off*) l'aerogeneratore viene bloccato dal sistema frenante per ragioni di sicurezza. Il bloccaggio può avvenire con freni che bloccano il rotore o con metodi che si basano sul fenomeno dello stallo e "nascondono le pale al vento".

Esistono anche generatori a pale mobili che seguono l'inclinazione del vento, mantenendo costante la quantità di elettricità prodotta dall'aerogeneratore, e a doppia elica, per raddoppiare la potenza elettrica prodotta. I generatori eolici possono essere silenziosi; il problema principale è la dimensione delle pale e la mancanza di generatori a micropale non visibili a occhio nudo che risolverebbero l'impatto negativo sul paesaggio.

I giri al minuto del rotore dell'aerogeneratore sono molto variabili, come lo è la velocità del vento; in genere si utilizzano delle scatole d'ingranaggi (planetari) per aumentare e rendere costante la velocità del rotore della dinamo e per permettere un avvio più facile con venti

deboli. La frequenza immessa nella rete deve essere costante a 50 hertz in Europa (in America sono 60 Hz), perciò i rotori della dinamo vengono collegati a una serie di inverter prima di immettere l'energia in rete. Esiste un sistema diverso, più efficiente nei generatori elettrici della Enercon. La cinematica del generatore eolico è caratterizzata da bassi attriti, moderato surriscaldamento che necessita di un sistema di refrigeranti (olio oppure acqua che disperdono il calore grazie a radiatori) e un costo di manutenzione relativamente basso (pressoché nullo soprattutto per il magnetoeolico). I principali produttori mondiali di aerogeneratori sono aziende americane, cinesi, danesi, tedesche, spagnole: Vestas, Enercon, Siemens, Gamesa Eólica, GE Wind Energy (ex Enron Wind), Liberty, Nordex, NedWind e l'italiana Leitwind. Sono circa 26 le aziende che producono gli aerogeneratori.

Generatore ad asse verticale

Un generatore eolico ad asse verticale (VAWT, in inglese *Vertical Axis Wind Turbines*) è un tipo di macchina eolica contraddistinta da una ridotta quantità di parti mobili nella sua struttura, il che le conferisce un'alta resistenza alle forti raffiche di vento, e la possibilità di sfruttare qualsiasi direzione del vento senza doversi riorientare continuamente. È una macchina molto versatile, adatta all'uso domestico come alla produzione centralizzata di energia elettrica nell'ordine del megawatt (una sola turbina soddisfa il fabbisogno elettrico mediamente di circa 1000 case). Macchine eoliche ad asse verticale sono state concepite e realizzate fin dal 1920. La sostanziale minore efficienza rispetto a quelle con asse orizzontale (30%) ne ha di fatto confinato l'impiego nei laboratori. L'unica installazione industriale oggi esistente è quella di Altamont Pass in California, realizzata dalla FloWind nel 1997. L'installazione è in fase di smantellamento, a causa delle difficoltà economiche del costruttore, che è in bancarotta. Si è cercato di ottimizzare molto queste macchine, rendendole molto competitive; gli ultimi prototipi, funzionando in molte più ore l'anno rispetto a quelle ad asse orizzontale, hanno un rendimento complessivo maggiore. La turbina a vento di Savonius è un tipo di turbina a vento ad asse verticale, utilizzata per la conversione di coppia dell'energia del vento su un albero rotante. Inventata dall'ingegnere finlandese Sigurd J. Savonius nel 1922 e brevettata nel 1929, è una delle turbine più semplici.

Generatore ad asse orizzontale

Gli aerogeneratori tradizionali hanno, quasi senza eccezioni, l'asse di rotazione orizzontale. Questa caratteristica è il limite principale alla realizzazione di macchine molto più grandi di quelle attualmente prodotte: i requisiti statici e dinamici che bisogna rispettare non consentono di ipotizzare rotorri con diametri molto superiori a 100 metri e altezze di torre maggiori di 180 metri. Queste dimensioni riguardano macchine per esclusiva installazione *off-shore*. Le macchine *on-shore* più grandi hanno diametri di rotore di 70 metri e altezze di torre di 130 metri. In una macchina così costruita il raggio della base supera i 20 metri. La velocità del vento cresce con la distanza dal suolo; questa è la principale ragione per la quale i costruttori di aerogeneratori tradizionali spingono le torri a quote così elevate. La crescita dell'altezza, insieme al diametro del rotore che essa rende possibile, sono la causa delle complicazioni statiche dell'intera macchina, che impone fondazioni complesse e costose e strategie sofisticate di ricovero in caso di improvvise raffiche di vento troppo forte.

Un generatore eolico ad asse orizzontale (HAWT, in inglese *Horizontal Axis Wind Turbines*) è formato da una torre in acciaio di altezze tra i 60 e i 100 metri sulla cui sommità si trova un involucro (gondola) che contiene un generatore elettrico azionato da un rotore a pale lunghe tra i 20 e i 60 metri (solitamente 3, raramente 2). Esso genera una potenza molto variabile, che può andare da pochi KW fino a 5-6 MW. Come i generatori ad asse verticale anche quelli ad asse orizzontale richiedono una velocità minima di 3-5 m/s ed erogano la potenza di progetto ad una velocità del vento di 12-14 m/s. Ad elevate velocità (20/25 m/s) l'aerogeneratore viene bloccato dal sistema frenante per ragioni di sicurezza. Il mulino a vento è l'esempio storico di generatore ad asse orizzontale.

Aspetti positivi

- Il vento è una fonte di energia rinnovabile e sostenibile, a basso impatto ambientale rispetto ad altre fonti energetiche.
- Non viene prodotto il gas serra CO₂, se non in quantità minime in rapporto alla costruzione dell'impianto.
- La riduzione dell'inquinamento atmosferico, 1 MW eolico installato consente la riduzione delle emissioni di:

CO_2 (anidride carbonica) 50.000 tonnellate

SO_2 (anidride solforosa) 70 tonnellate

NO_2 (diossido di azoto) 100 tonnellate + polveri

- Le dimensioni dei parchi eolici sono facilmente scalabili nella potenza, particolarmente adatte a soddisfare la domanda di piccole città o province poco popolate.
- Non si verifica una variabilità dei costi dovuta ad aumenti del prezzo del combustibile.
- Una volta determinato il costo di costruzione dell'impianto risulta fattibile determinare i tempi di ammortamento (un grosso impianto elettrico comincerà a pagarsi soltanto finita la costruzione, dopo circa 6-10 anni, accumulando interessi del 24-50% rispetto all'investimento iniziale).
- I costi di mantenimento e smantellamento sono relativamente bassi, molti componenti sono riciclabili e riutilizzabili.
- Esiste un ampio margine di miglioramento nei costi (razionalizzazione dei processi produttivi), nella trasformazione della potenza meccanica in corrente elettrica (gestione elettronica della trasformazione) e nell'immagazzinamento della corrente (utilizzo di nuovi tipi di batterie più efficienti, di serbatoi d'acqua sopraelevati e di generatori "mini-hydro" ad alta efficienza [9]).
- Nel Texas (e in altri stati degli USA), l'eolico si è dimostrato una fonte di reddito ulteriore per allevamenti e colture in difficoltà economica, permettendo la sopravvivenza di agricoltori che ricevendo un reddito fisso mensile dalle società elettro-eoliche (come canone per l'utilizzo del relativamente piccolo spazio occupato al suolo) possono alleviare problemi quali la variabilità del prezzo di vendita dei prodotti agricoli e la perdita dei raccolti.
- L'impiego di energia eolica determina innumerevoli ricadute positive sul fronte occupazionale, sia in termini di incremento della manodopera presso il sito sia per la creazione di nuovi posti di lavoro dal lato del produttore/investitore e dei fornitori. Uno studio congiunto ANEV-UIL mostra che nel 2010 sono 25.530 gli occupati nel

comparto eolico, con una crescita dell'occupazione del 4,5% nei primi 6 mesi (oltre 1.000 addetti in più) di cui 7.460 addetti diretti, in una fase di recessione economica generalizzata. Lo scenario delineato dallo studio relativamente alle potenzialità occupazionali del settore mostra che nell'eolico potranno essere occupate, entro dieci anni, 67.010 unità in tutto il territorio nazionale, di cui un terzo di occupati diretti (19.431) e due terzi di occupati dell'indotto (47.579).

Aspetti negativi

- Dato che, per motivi di sicurezza ed efficienza, i generatori eolici possono operare solo in particolari condizioni di vento, l'energia eolica viene prodotta a intermittenza e perciò non è programmabile. Tale situazione fa sì che il settore eolico non possa sostituire completamente fonti tradizionali quali i combustibili fossili o l'energia idroelettrica, per i quali la potenza erogata è costante o direttamente controllabile in base alle esigenze. Tale fonte di energia trova quindi il suo ambito applicativo principalmente nell'integrazione alle reti esistenti affiancata a impianti programmabili per soddisfare la necessità di potenza di picco ad ogni istante durante il giorno[10]. Così come avviene per l'energia fotovoltaica, il problema dell'intermittenza o variabilità aleatoria di tale fonte energetica nelle esigenze energetiche a livello locale può essere superato in linea teorica con una produzione ampiamente distribuita e sovradimensionata e con l'appoggio a sistemi di distribuzione elettrica automatizzati e a larga scala (le cosiddette smart grid) cioè sistemi di distribuzione in grado di smaltire i flussi di energia intermittenti che altrimenti genererebbero sovraccarichi e improvvisi cali di tensioni con ripercussioni sulla produzione, trasmissione e distribuzione dell'energia stessa.
- Sulla terraferma, i luoghi più ventosi e quindi più adatti alle installazioni eoliche sono generalmente le cime, i crinali di colline e montagne o le coste. Gli impianti moderni, sebbene siano anche esteticamente apprezzabili, per le loro grandi dimensioni risultano visibili da grande distanza e possono causare un turbamento del paesaggio. Tuttavia le installazioni eoliche sono totalmente reversibili (bassi costi di smantellamento, completo ripristino delle condizioni ambientali preesistenti e assenza di alterazioni permanenti del paesaggio), diversamente da altre tipologie di

centrali elettriche come termoelettrico, nucleare e idroelettrico, il cui impatto ambientale, sia estetico che ecologico, è di fatto irreversibile sia per gli alti costi (dighe, impianti nucleari) che per i tempi lunghi (scorie radioattive).

- Esiste il rischio di mortalità da impatto per gli uccelli migratori, in particolare per gli impianti più grandi[11]. È stato comunque rilevato una mortalità molto inferiore a quella normalmente causata dalle finestre degli edifici e dalle automobili.
- Il rumore di una turbina eolica, dovuto essenzialmente al vento incidente sulle pale, secondo alcuni studi favorirebbe, nei residenti di abitazioni nelle immediate vicinanze, la cosiddetta "sindrome da pala eolica", un insieme di disturbi a sfondo neurologico[14].
- Le autorità preposte al controllo del traffico aereo di alcuni paesi sostengono che gli impianti possono interferire con l'attività dei radar, sia perché l'elevata RCS (Radar Cross Section) delle torri produrrebbe un'eco radar difficile da eliminare, sia perché le pale in continua rotazione potrebbero essere scambiate per velivoli in movimento. Costituiscono un pericolo anche per piloti che si affidino a sistemi di visione notturna (a infrarossi o a intensificatori di luce.[15] Principalmente danneggiati sono i radar meteo.

Efficienza

L'efficienza massima di un impianto eolico può essere calcolata utilizzando la Legge di Betz, che mostra come l'energia massima che un generatore qualunque possa produrre (ad esempio una pala eolica) sia il 59,3% di quella posseduta dal vento che gli passa attraverso. Tale efficienza è il massimo raggiungibile, e un aerogeneratore con un'efficienza compresa tra il 25% al 40% viene considerato ottimo. Gli impianti eolici consentono grosse economie di scala, che abbattono il costo del chilowattora elettrico con l'utilizzo di pale lunghe ed efficienti dalla produzione di diversi megawatt ciascuna. Una maggiore potenza elettrica in termini di megawatt significa grossi risparmi sui costi di produzione, ma anche pale più lunghe e visibili da grandi distanze, con un maggiore impatto ambientale sul paesaggio. Un colore verde, nel tentativo di mimetizzare gli aerogeneratori all'interno del paesaggio, attenua in minima parte il problema, date le altezze degli impianti. Per questo motivo, nonostante la suddetta maggiore economicità ed efficienza degli impianti di grossa scala,

per lo più si decide per una soluzione di compromesso tra il ritorno economico, che spinge verso impianti più grandi, e l'impatto paesaggistico.

Costi

Il costo di installazione si aggira attorno agli 1.500.000 euro per Megawatt (per confronto, un impianto fotovoltaico ha un costo di circa 3.200.000 euro per Megawatt). Per le turbine negli anni passati ci sono stati aumenti dei costi a causa dell'aumento del prezzo delle materie prime, ossia dei materiali ferrosi di cui sono composte. Nel 2008 il costo in terraferma era di 1,38 euro per watt, con un aumento del 74% relativo ai tre anni precedenti. *Off shore* il costo era di 2,23 euro, con un incremento del 48% rispetto ai tre anni precedenti. Tuttavia oggi nel mondo e particolarmente negli Stati Uniti il costo delle turbine sta diminuendo velocemente per vari motivi tra cui la forte competizione del settore. Oggi si è arrivati nel secondo semestre del 2010 a prezzi medi per grandi commesse inferiori a 1 euro per watt. Dopo anni in cui il costo è salito, adesso (2010/2011) siamo in presenza di prezzi calanti. Il costo di produzione varia a seconda della velocità media del vento nella zona, e risulta ottimale, quando nella zona si hanno venti abbastanza costanti con velocità medie che superano i 5 metri al secondo (18 km/h). Secondo il rapporto dell'International Energy Agency del 2005, il costo medio di produzione dell'energia eolica è di circa 90 dollari per megawattora. Il costo non tiene conto che in grandi installazioni potrebbe essere necessario predisporre degli impianti di generazione di riserva per assicurare l'erogazione di energia elettrica nel caso si verificasse assenza di vento. Il costo di installazione in Italia, facendo riferimento ad impianti con una potenza nominale superiore ai 600 kilowatt, varia tra i 1,0 e i 1,8 euro per wattora; il prezzo varia secondo la complessità dell'orografia del terreno in cui l'impianto è installato, della classe di macchina installata, della difficoltà di connessione alla rete elettrica. Una centrale di 10 megawatt, allacciata alla rete in alta tensione, costerebbe tra i 12 e i 18 milioni di euro, mentre per una centrale allacciata alla rete di media tensione (3-4 megawatt) il costo si comprime tra 1,2 e 1,5 milioni di euro al megawatt. Gli unici capitoli di spesa totale riguardano l'installazione e la manutenzione, dato che non ci sono costi di approvvigionamento della fonte produttrice di energia. In relazione alla superficie occupata, una centrale eolica non toglie la possibilità di continuare le precedenti attività su quel terreno (pastorizia, colture, ecc..

Iter per la realizzazione di un impianto
Pratiche burocratiche necessarie per l'installazione
dell'impianto eolico

Via (Valutazione impatto ambientale)

Documentazione fotografica

Mappa catastale

Relazione paesaggistica

Prg

Rendering

Relazione tecnica installazione

Aspetti burocratici e normativi
Autorizzazioni: D.Lgs. 387/03

< 20KW

>20KW

Iter semplificato:

Complessità burocratica:

DIA (no zona vincolo paes.)

Permesso di costruire

DIA + Comunicazione alla Soprintendenza

Autorizzazione

ai Beni Culturali se in zona con vincolo

paesaggistica

paesaggistico.

Nulla osta Autorità militari.

Richiesta allaccio Grid Connect

Svincolo idrogeologico.

46/90 installazione impianto

Licenza officina elettrica

Aspetti burocratici e normativi

Autorizzazioni: Legge Finanziaria 2007/2008 Rispetto al D. Lgs 387/03 introduce semplificazioni:

- DIA per gli impianti eolici è stato esteso dai 20KW fino alla potenza di 60KW
- Tempi certi per la connessione in rete degli impianti da parte del Gestore della Rete

Aspetti burocratici e normativi - Decreto legislativo 30 maggio 2008, n°115

Art.11. Semplificazione e razionalizzazione delle procedure amministrative e regolamentari

Gli interventi di incremento dell'efficienza energetica che prevedano l'installazione di singoli generatori eolici con altezza complessiva non superiore a 1,5 metri e diametro non superiore a 1 metro, nonché di impianti solari termici o fotovoltaici aderenti o integrati nei tetti degli edifici con la stessa inclinazione e lo stesso orientamento della falda e i cui componenti non modificano la sagoma degli edifici stessi, sono considerati interventi di manutenzione ordinaria e non sono soggetti alla disciplina della denuncia di iniziazione attività.

Decreto ministeriale 18/12/2008: decreto attuativo

I produttori aventi diritto alla tariffa omnicomprensiva che non hanno richiesta di Certificati Verdi e che, nelle more dell'entrata in vigore del DM 18/12/08, hanno richiesto il ritiro dedicato dell'energia ai sensi della delibera AEEG 280/07, hanno diritto alla tariffa omnicomprensiva a partire dalla data di entrata in esercizio commerciale dell'impianto. Il GSE (gestore servizi energetici) effettuerà i conguagli sulla tariffa applicata in base a quanto previsto nella tabella 3 allegata alla Legge n. 244 del 24 dicembre 2007 (Finanziaria 2008) e nel rispetto delle condizioni che saranno stabilite dall'Autorità per l'energia elettrica e il gas ai sensi di quanto previsto all'articolo 2, comma 153 della medesima Legge.

Incentivi e vantaggi: Legge Finanziaria 2007/2008

A differenza degli impianti fotovoltaici, la normativa non è molto chiara per il mini eolico e lascia qualche dubbio interpretativo. Riconosce incentivi per la generazione di energia da fonte eolica nella forma del conto energia. Per gli impianti connessi in rete (grid connected) la legge Finanziaria 2008 stabilisce che:

- Durata dell'incentivo è pari a 15 anni;
- Incentivo è pari a 30 € cent/kWh e viene aggiornato ogni triennio.

Nel 2007 l'incentivo era pari a 0.22 € cent/kWh Il beneficio economico derivante dal conto energia non è soggetto a tassazione (pronunciamento Agenzia delle Entrate con delibera

luglio 2007). Per gli impianti minieolici connessi in rete (grid connected) la legge Finanziaria 2007/2008 prevede inoltre la possibilità di beneficiare del meccanismo dello scambio sul posto. La rete elettrica nazionale si comporta come una batteria che immagazzina energia quando prodotta in eccesso per l'autoconsumo, e la cede nei momenti di non produzione

Il settore eolico in Italia

Lo sviluppo dell'eolico in Italia è iniziato intorno agli anni '80, quando ENEA, ENEL ed altri operatori privati individuarono nell'eolico una grande potenzialità economica. Le prime macchine vennero installate intorno agli inizi degli anni 90, ma è solo dal 1996 che si è cominciato ad avere un incremento delle installazioni eoliche. A distanza di 12 anni dalle prime installazioni, per motivazioni economiche ed ambientali (in rispetto del Protocollo di Kyoto), il numero d'installazioni nonché l'energia elettrica prodotta sta aumentando a ritmi molto elevati.

L'Italia può contare su venti di buona intensità, specialmente nelle zone mediterranee e nelle isole. Ed è proprio in queste zone, in special modo lungo il crinale appenninico e nelle zone costiere delle regioni del centro-sud (Campania, Puglia, Molise, Sicilia e Sardegna) che sono state impiantate le cosiddette windfarm o fattorie del vento. *A wind farm is a group of wind turbines in the same location used to produce electric power. A large wind farm may consist of several hundred individual wind turbines, and cover an extended area of hundreds of square miles, but the land between the turbines may be used for agricultural or other purposes. A wind farm may also be located offshore.*

Il primo prototipo di generatore fu installato nel 1989 ad Alta Nurra in Sardegna. Oggi a distanza di venti anni, veri e propri parchi eolici sono stati installati un po' dappertutto; con impianti anche di 50 – 60 aerogeneratori. Il futuro prevede, quindi, un incremento esponenziale nel numero di centrali eoliche funzionanti, con un risparmio in termini d'immissione di sostanze dannose incalcolabile. Un'ampia diffusione stanno avendo gli aerogeneratori di media e grande taglia con diametro del rotore da 50 a 90 m con potenze tra 850-3000 kW. Addirittura un leader del settore ha installato una turbina con potenza corrispondente a 5000 kW per sperimentare una nuova generazione utilizzabile sia su terra ferma (on shore) oppure in mare (off shore). Attualmente, inoltre, la potenza eolica installata nel mondo è passata dai 10 MW del 1980 ai 94.122 MW del 2007. Alla fine del

2009 in Italia erano presenti oltre 200 parchi eolici distribuiti in quasi tutte le regioni. Ovviamente la maggioranza di questi è localizzata al sud e la parte del padrone è fatta da Puglia, Sicilia, Campania e Sardegna. La dimensione e l'estensione di questi parchi varia dalle poche centinaia di KW a qualche decina di MW, da una turbina a più di un centinaio di turbine.

Il tempo di vita di un parco è circa di 20-25 anni, infatti i primi storici parchi costruiti alla fine degli anni 80 e nei primi anni 90 cominciano a essere rimpiazzati con turbine nuove più grandi e più efficienti. I principali realizzatori e gestori di parchi eolici in Italia sono: IP Maestrale, IVPC, Fri-El, Enel Green Power, Edison Energie Speciali che da sole detengono circa il 50% del mercato. Riguardo il mercato delle turbine Vestas continua ad essere il leader con circa il 45% del mercato seguito da Gamesa e Enercon.

Importanti impianti eolici italiani

Italia settentrionale Il nord Italia finalmente dà il proprio contributo alle scelte mondiali, provenienti soprattutto dagli Stati Uniti, in materia di fonti di energia rinnovabili. Finalmente perché, come è ben noto, l'inquinamento dell'aria nella Pianura Padana è il più grave in Europa, e addirittura il quarto nel mondo. L'impianto eolico più grande del nord Italia si trova nei comuni di Monterenzio e Castel del Rio, in provincia di Bologna, e ricopre un'area complessiva di 4 chilometri quadrati. Con le sue 16 pale eoliche da 800 KW l'una è la più grande struttura a vento del nord Italia, capace di generare una potenza complessiva di 13 megawatt. L'energia prodotta coprirà il 50% del fabbisogno dei 25mila abitanti dei due comuni, circa 8000 famiglie. L'impianto eolico è stato inaugurato un mese fa nonostante le proteste e i ricorsi al Tar emiliano di alcune associazioni ambientaliste tra cui Lipu, Legambiente e Asoer, che criticavano l'eccessivo investimento e la devastazione del paesaggio ritenuti sproporzionali rispetto al risparmio energetico ottenibile. La giunta provinciale bolognese ha puntato invece sugli aspetti positivi che l'impianto assicura in termini energetici ma soprattutto in termini di riduzione dell'inquinamento: produrre energia pulita con la forza del vento permetterà infatti di ottenere un risparmio energetico di 20.000 barili di petrolio, l'anno consentendo di ridurre di 20.000 tonnellate le emissioni di anidride carbonica in atmosfera. Un grande passo avanti quindi per le fonti di energia rinnovabili italiane. Sono già in progetto infatti altri sei impianti eolici, di cui uno ancora più

grande di quello appena costruito. Quest'ultimo, che dovrebbe sorgere nella zona di Monte dei Cucchi, comune di San Benedetto Val di Sambro, conterà ventiquattro pale di 100 metri d'altezza.

Italia centrale In Toscana troviamo uno dei parchi eolici più importanti: il parco eolico dei Poggi Alti: esso è costituito da dieci aerogeneratori di energia eolica, ubicati sull'omonimo crinale collinare ad un'altitudine variabile tra i 600 e i 650 metri s.l.m.; sulle torri alte 67 metri sono installati rotori tripala aventi un diametro di 90 metri, ciascuna di esse è equipaggiata con un generatore G90 in grado di produrre 2 megawatt di energia. La capacità produttiva totale dei dieci aerogeneratori è, pertanto, di 20 megawatt e fa dell'impianto il più grande parco eolico della Toscana. Insieme all'uso di una fonte assolutamente rinnovabile si sottolinea il significato ambientale della scelta: le emissioni evitate in un anno, corrispondenti alla produzione energetica del parco eolico, si stimano in 38.000 tonnellate di anidride carbonica, 230 tonnellate di anidride solforosa, 230 tonnellate di ossidi di azoto, 2.500 tonnellate di polveri; i barili di petrolio risparmiati sono 150.000. Originariamente previsto a 17 pale, il progetto è stato ridimensionato alle attuali dieci, a seguito di alcuni dubbi sollevati relativamente all'impatto paesaggistico nel cuore dell'area di produzione del Morellino di Scansano, data l'ubicazione dell'impianto sul crinale collinare che, da nord-est, domina la zona in cui è situato lo storico castello di Montepò.

Italia meridionale Parco Eolico di Accadia - Monte Tre Titoli Nel comune di Accadia in provincia di Foggia, in località Murge del Cuculo e Monte Tre Titoli, sono in funzione dal 1999 due campi eolici. Attualmente, l'intero parco eolico si compone di 18 aerogeneratori. A Monte Tre Titoli sono presenti 6 aerogeneratori di potenza installata pari a 3.6 MW. Nel 2006 sono stati installati ulteriori 6 aereogeneratori da 850 kW, che hanno completato l'impianto esistente, come previsto nella Convenzione pattuita con l'Amministrazione Comunale e nella progettazione originaria. La ventosità dei siti e le ore annue di funzionamento registrate hanno evidenziato un elevato standard di efficienza degli impianti, andando a confermare le rilevazioni eseguite negli anni precedenti alla realizzazione e le scelte di progettazione e di installazione effettuate dalla società. Il più grande parco eolico italiano si trova in Sardegna 4.000 ettari di territorio nella zona di Budduso e Ala dei sardi, in Gallura hanno dato vita al parco eolico più grande d'Italia. L'impianto, realizzato dalla Falck

Renewables, nel suo complesso consentirà di coprire il fabbisogno energetico di 110 mila famiglie, con un risparmio energetico di circa 180 mila tonnellate di anidride carbonica all'anno. 69 le turbine alte circa 100 metri, realizzate a 900 m sul livello del mare, che una volta entrate a regime produrranno 300 GW in un anno, fatturando circa 50 milioni di euro. L'impianto è costato 250 milioni di euro. Le minori emissioni di CO2 renderanno la Sardegna una delle prime Regioni italiane in grado di soddisfare gli obiettivi del Protocollo di Kyoto. "Tra le energie rinnovabili - ha spiegato durante l'inaugurazione Piero Manzoni, amministratore delegato della società costruttrice - l'eolico è quella meno costosa. L'impianto di Buddusò e' il più grande d'Italia e uno dei migliori a livello europeo come qualità della risorsa vento. Sappiamo che in termini di occupazione l'eolico non rende molto - ha precisato - ma la produzione di energia è volano dell'economia". Delle 69 turbine, 18 sono entrate in funzione a novembre: a regime il parco darà lavoro a una ventina di operai.

Brescia e l'energia eolica

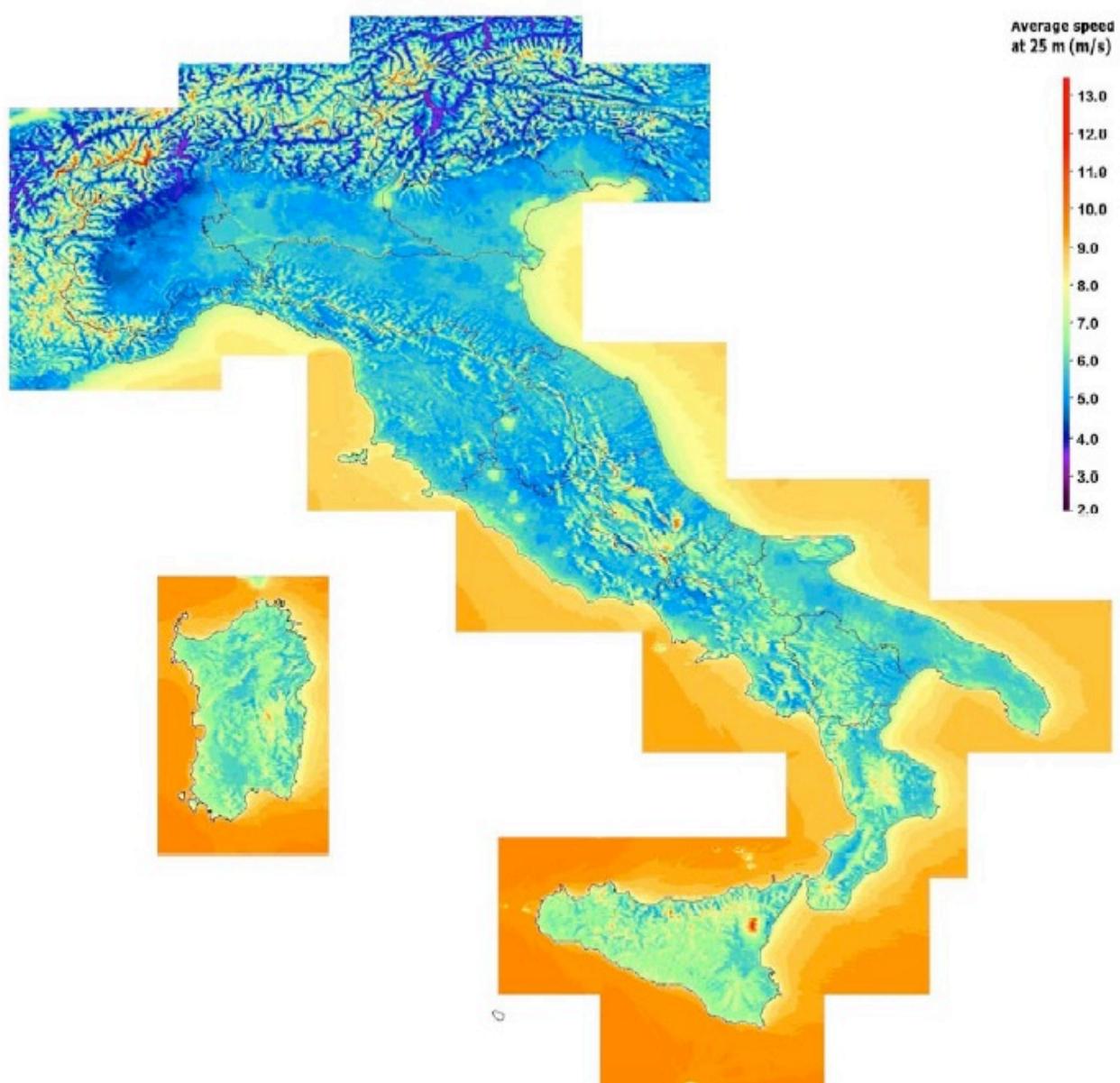
La forgia bresciana raccoglie la sfida dell'eolico

La Lombardia, priva di impianti, è protagonista nella produzione di elementi per trarre energia dal vento e agli imprenditori è stato suggerito di passare dalla realizzazione dei singoli componenti alla fornitura di sistemi. Un esempio a livello territoriale è rappresentato dalla "Leonessa SPA" di Carpenedolo dove viene sviluppato l'intero percorso: dalla barra di acciaio ai cuscinetti per i pali. La componentistica per impianti eolici è diventata un settore produttivo sempre più importante per le imprese della forgia bresciana, un distretto che ha saputo inserirsi da protagonista nel crescente business delle energie rinnovabili. La ragione principale di questo exploit va ricercata, oltre che nella consolidata sensibilità di tali ditte per la ricerca e l'innovazione (nonostante una storia aziendale che in molti casi supera il secolo), in una produzione di eccellenza assorbita prevalentemente dalla domanda estera come dimostra il caso, notevole ma non certo isolato, delle Fonderie Ariotti e come ha rilevato lo stesso Ariotti in un'intervista, chi assembla componenti per impianti eolici non può certo contare su commesse italiane, dato il limitato sviluppo che tale comparto ha nel nostro paese, in termini di aziende produttrici. Operare in un settore, come la meccanica pesante, dove l'Italia conserva posizioni di leadership e avere, di conseguenza, costanti rapporti con clienti esteri di grande rilevanza è invece esattamente ciò che ha permesso alle

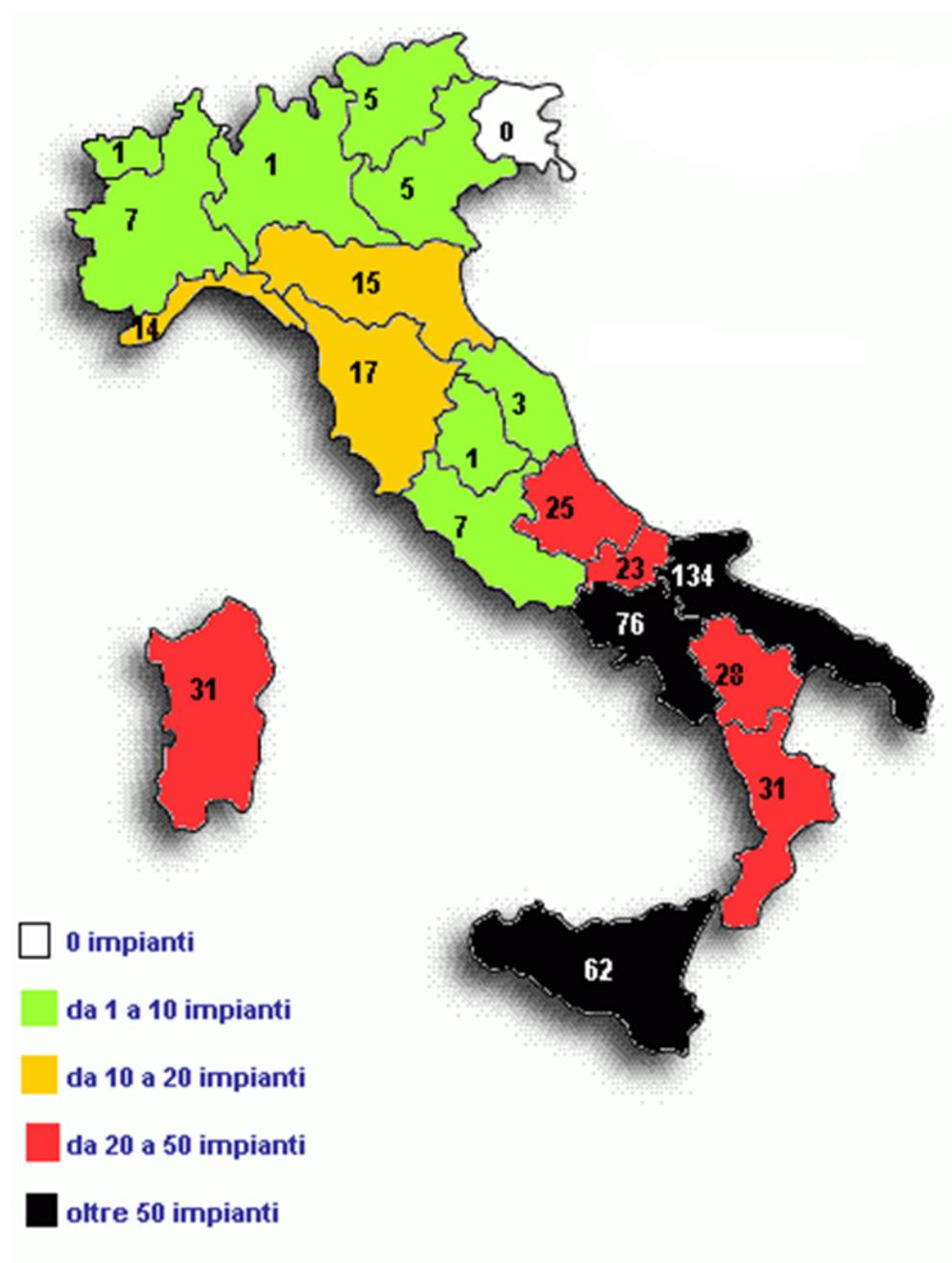
fonderie bresciane di diventare un riferimento nodale della filiera europea dell'energia del vento, un comparto divenuto particolarmente attrattivo grazie a rendimenti e a costi di installazione decisamente più vantaggiosi rispetto al fotovoltaico. Le fonderie Ariotti S.P.A si trovano ad Adro in Franciacorta, sono sorte nel 1910 ad opera di Giuseppe Ariotti il quale ha dato vita ad una piccola attività che nel tempo ha cercato di adeguarsi alla realtà in continua trasformazione come dimostra l'aggiunta dell'ultimo settore riguardante appunto l'eolico. A importare dalla provincia della Leonessa mozzi porta pale, alberi rotori e tubi di sostegno sono società del calibro di Vestas, Siemens, Acciona è addirittura il colosso statunitense General Electric. Scandinavia, Germania e Spagna le aree dalle quali arriva il maggior numero di ordini. Sarebbe, invece, davvero arduo citare tutte le realtà imprenditoriali bresciane protagoniste di un'avventura industriale con ancora molti capitoli da scrivere. Oltre alle Fonderie Ariotti, si possono citare Forgiatura Mamè, Forge Monchieri di Cividate Camuno e Aso di Ospitaletto, Sertom di Collebeato, Mf Trasformatori di Calcinato, La Leonessa di Carpenedolo, fino ai casi della Franchini Acciai di Mairano, il cui fatturato deriva per il 40% dall'eolico, soprattutto per quanto riguarda la produzione di rotori, e della Windstar di Gussago, che ha avviato una propria produzione di microturbine eoliche. Secondo i dati relativi del 2008, l'energia del vento ha pesato per oltre il 10% del giro d'affari delle fonderie bresciane, una percentuale destinata ad aumentare con la crescente specializzazione e l'espansione del settore. Perché la grande crisi non è finita ma, assicurano gli analisti, l'eolico è e resterà un settore in controtendenza.

Lumezzane attiva, vivace e innovativa realtà imprenditoriale, non poteva non accogliere la sfida proposta dalle energie rinnovabili perciò anche sul nostro territorio alcune aziende hanno inserito nella loro produzione componenti per impianti eolici, solari, idroelettrici. Merita di essere citata, in tal senso, la ditta POLOTTI FIRMO – Elettrotecnica ed Energie Alternative che dal 1980 ha scommesso sul futuro possibile e sostenibile del pianeta e si è impegnati nel settore ENERGIE ALTERNATIVE. Molto tempo è passato da allora, molte soddisfazioni e molte delusioni hanno caratterizzato il suo impegno in questo settore, ma oggi può dire di essere riuscita a formare una struttura che può soddisfare qualsiasi esigenza di carattere energetico che venga sottoposta al suo ufficio tecnico.

Mappa dei venti italiani



Impianti eolici in Italia nel 2010



Impianti eolici in Italia



L'eolico cresce nei paesi di sviluppo. La Cina prima al mondo

Per Paesi in Via di Sviluppo sono tutti quei paesi compresi nella parte I della lista stilata dall'OCSE, l'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico.

Essi presentano una serie di caratteristiche comune che sono:

- bassi tassi di crescita del Reddito Nazionale;
 - bassi tassi di crescita del Reddito pro capite;
 - ristretta base industriale;
 - poca accumulazione del capitale;
 - alta percentuale di povertà assoluta;
 - basso tenore di vita – come da indicatori ISU (Indici di Sviluppo Umano) circa sanità, mortalità, fame ed educazione.

Questi paesi sono concentrati nel Sud del Mondo ed in passato sono stati oggetto di colonizzazione da parte di Paesi occidentali.

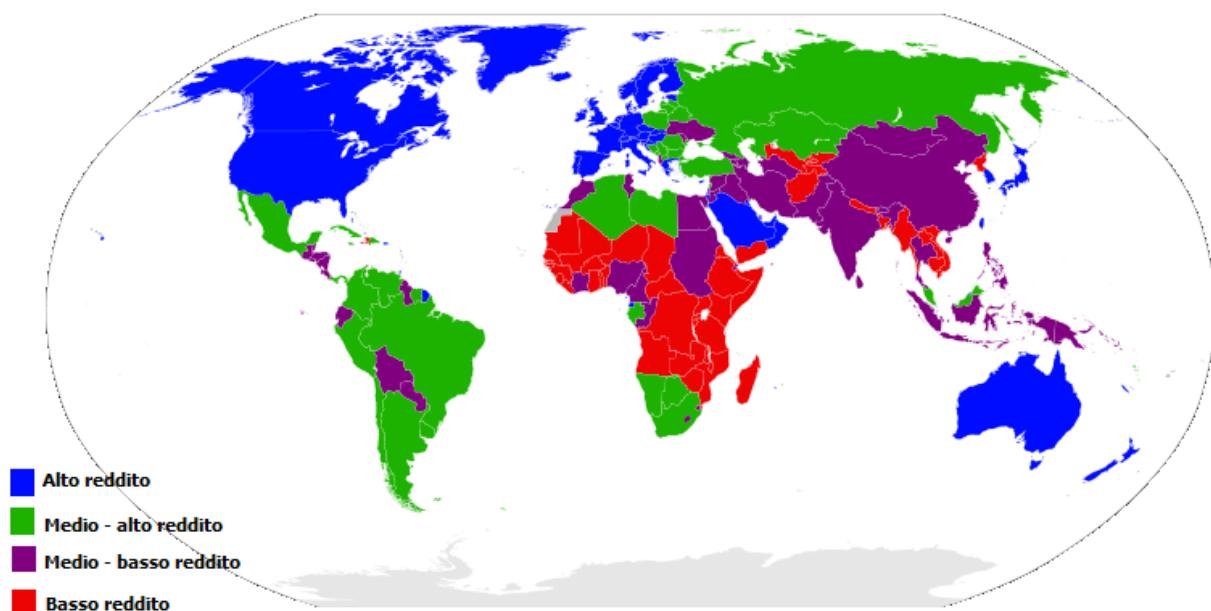


Figura 1: Diffusione dell'eolico nel mondo

Lo sfruttamento dell'energia eolica ha avuto un incremento costante negli ultimi anni raggiungendo un valore di potenza installata nel mondo pari a 200 GW. La tecnologia utilizzata ha subito notevoli cambiamenti, per quanto riguarda la qualità dei componenti, le dimensioni degli impianti, i rendimenti e i costi di manutenzione rendendola in molti casi più

economica delle altre fonti rinnovabili e raggiungendo, in condizioni particolarmente favorevoli, costi del kWh confrontabili con quelli delle fonti fossili.

Situazione mondiale del mercato dell'eolico

I dati riportati dalle statistiche del Global Wind Energy Council mettono in evidenza una crescita esponenziale della potenza eolica installata nel mondo per un totale di circa 200.000 MW.

Nel 2010, per la prima volta, la capacità installata è stata superiore nei paesi in via di sviluppo e nelle economie emergenti. La crescita delle installazioni è stata molto forte in Cina, che è diventata la prima nazione al mondo per potenza eolica installata. Il governo cinese ha infatti una chiara intenzione di ricorrere in maniera crescente all'energia eolica da un lato per rispondere alla necessità del paese di incrementare la produzione elettrica per sostenere lo sviluppo economico, dall'altra per valorizzare le grandi zone rurali che caratterizzano il territorio. Inoltre negli ultimi anni è emersa la volontà del paese di ridurre le emissioni di gas serra e l'inquinamento atmosferico. Situazione analoga si è verificata in India dove per far fronte allo sviluppo economico e alla crescente domanda di energia da parte della popolazione il governo si è impegnato a raggiungere quote elevate nel periodo 2007-2012. A fine 2010 la potenza installata sul territorio era pari a 13,1 GW. L'Africa dispone di una grande quantità di coste dove la disponibilità di energia eolica e di energia del moto ondoso sono abbondanti. Queste risorse, e in particolare quelle eoliche, si concentrano in corrispondenza di particolari elementi topografici come coste, catene montuose e altri canali naturali, e sono distribuite in modo molto meno omogeneo rispetto alla disponibilità di energia solare. Attualmente, il più grande impianto per la produzione di energia eolica dell'Africa si trova a Koudia Al Baida, in Marocco; altri due grandi impianti sono in costruzione a Tangeri e Tarfaya. Ci sono progetti in corso anche per una serie di grandi impianti presso Città del Capo, in Sudafrica. In molti paesi in via di sviluppo sono disponibili risorse considerevoli di vento da sfruttare. Un ostacolo fondamentale in questi paesi è la mancanza di esperienza per quanto riguarda i metodi di selezione dei siti e gli aspetti tecnico-impiantistici. A tal proposito, risulta importante il programma del Governo tedesco, denominato TERNA (*Technical Expertise for ReNewable Energy Application*),

finalizzato alla diffusione delle conoscenze e competenze tecniche per la realizzazione e gestione di impianti eolici in Africa, America Latina e Asia.

L'esperienza di William Kamkwamba

Per costruire una macchina in grado di sfruttare l'energia eolica non servono tantissimi materiali, spesso è assai più forte la motivazione e la determinazione nel voler raggiungere un obiettivo. Ne è un esempio William Kamkwamba un ragazzo del Malawi poverissimo che a 14 anni, a causa di una carestia, si ingegna per costruire un piccolo mulino eolico che aiuterà la sua famiglia e la comunità ad irrigare i campi e fornire di elettricità le abitazioni. William è stato invitato a raccontare la sua esperienza alle "TED conference", conferenze studiate nei minimi particolari dove persone straordinarie presentano le loro idee ed i loro studi; tra i relatori ci sono scienziati, politici, registi, studiosi ma anche agricoltori, artigiani, persone semplici purchè abbiano qualcosa di valore da dire. Questo è il suo discorso:

"Grazie.

Due anni fa' sono intervenuto allo stage TED di Arusha in Tanzania. Ho raccontato molto brevemente la cosa più importante che ho fatto: una macchina semplice, che ha cambiato la mia vita. Prima di allora non mi ero mai allontanato da casa mia, in Malawi. Non avevo mai usato un computer. Non mi ero mai collegato a Internet. Quel giorno, allo stage di TED, ero molto nervoso. Il mio inglese... dimenticato. Mi sentivo vomitare. (Risate) Non avevo mai avuto attorno così tanti azungu, bianchi (uomini bianchi) (risate). Avevo una storia che non riuscivo a raccontare allora. Ma oggi mi sento molto meglio, vorrei condividerla con voi oggi. Nella mia famiglia siamo sette figli. Sei sorelle ed io. Eccomi qua da piccolo con mio padre. Prima di scoprire le meraviglie della scienza, ero solo un povero agricoltore in un paese di poveri agricoltori. Con tutti gli altri, coltivavamo il mais. Un anno la nostra sorte volse al peggio. Nel 2001 abbiamo sofferto una terribile carestia. Nel giro di cinque mesi, in Malawi, abbiamo iniziato a morire di fame. A casa mia si mangiava una volta al giorno, di notte. Solo tre porzioni di nsima a testa. Il cibo passa attraverso i nostri corpi. Finiamo in niente. In Malawi, alla scuola secondaria, si pagano le tasse scolastiche. A causa della carestia, sono stato costretto ad abbandonare la scuola. Guardavo mio padre, guardavo quei campi brulli. Non potevo accettare che quello fosse il mio futuro. Ero così contento di andare alla scuola

secondaria, perciò ho voluto fare tutto il possibile per continuare a imparare. Cos' sono andato in una biblioteca. Ho letto libri di scienza, soprattutto di fisica. Non leggevo l'inglese molto bene. Ho usato i diagrammi e le figure per imparare il significato delle parole che contenevano. Un altro libro ha messo quel sapere nelle mie mani. Diceva che i mulini a vento possono pompare acqua e generare elettricità. Pompare acqua significava irrigare: una difesa contro la fame, che pativamo in quei tempi. Così ho deciso di costruire il mio mulino a vento. Ma non avevo i pezzi necessari. Allora sono andato in una discarica e là ho trovato i miei pezzi. Molti, tra i quali mia madre, dicevano che ero pazzo (risate). Ho trovato la ventola di un trattore, un ammortizzatore, dei tubi di plastica. Con il telaio e la dinamo di una vecchia bicicletta, ho costruito la mia macchina. All'inizio alimentava una lampadina soltanto, poi quattro, con gli interruttori e persino un relè, ricostruiti dallo schema di una bolletta. Un'altra macchina pompa l'acqua per l'irrigazione. Un sacco di gente ha iniziato a fare la fila davanti a casa mia (risate), per ricaricare il cellulare (applausi). Non riuscivo a liberarmi di loro (risate). Arrivarono anche i giornalisti, che condussero ai bloggers che a loro volta mi fecero arrivare una telefonata da qualcuno chiamato TED. Non avevo mai visto un aereo. Non avevo mai dormito in un albergo. In quei giorni ad Arusha, il mio inglese è svanito, e ho detto cose come "Ci ho provato, e l'ho fatto." Vorrei dire qualcosa di più oggi a tutti voi che siete qui, come me, agli africani, e ai poveri che si stanno scontrando con i propri sogni: Dio vi benedica. Forse un giorno vedrete questo video in internet. Io vi dico: abbiate fiducia in voi stessi e credete. Qualunque cosa succeda, non rassegnatevi. Grazie. (applausi)".



Figura 2: William Kamkwamba e la sua turbina

SECONDA PARTE

Descrizione

Di seguito descriveremo le varie fasi della realizzazione della turbina eolica con alcuni approfondimenti di tipo teorico che sono stati affrontati durante il corso del progetto. Risultano molto esplicativi i disegni, i cicli di lavorazione e altro materiale utile al progetto. Inoltre vengono riportati fra gli allegati, gli articoli di giornale che riguardano il progetto e uno stralcio della pagina facebook che ci è servita per comunicare tra i membri del progetto e quanti fra gli amici seguivano le nostre peripezie. In totale il gruppo di interesse raccolto intorno a facebook è stato di 57 persone.

La nostra macchina si ispira a un modello ormai ben collaudato progettato da Hugh Piggott (<http://scoraigwind.co.uk/>). Questo progetto è stato rilasciato come open source quindi è possibile realizzarlo liberamente apportando tutte le modifiche necessarie. È particolarmente usato dalle ONG per progetti di sviluppo nei paesi poveri. Il nostro apporto è stato quello di realizzare tutto alle macchine utensili, che è la specificità della Valtrompia e obiettivo formativo della nostra scuola.

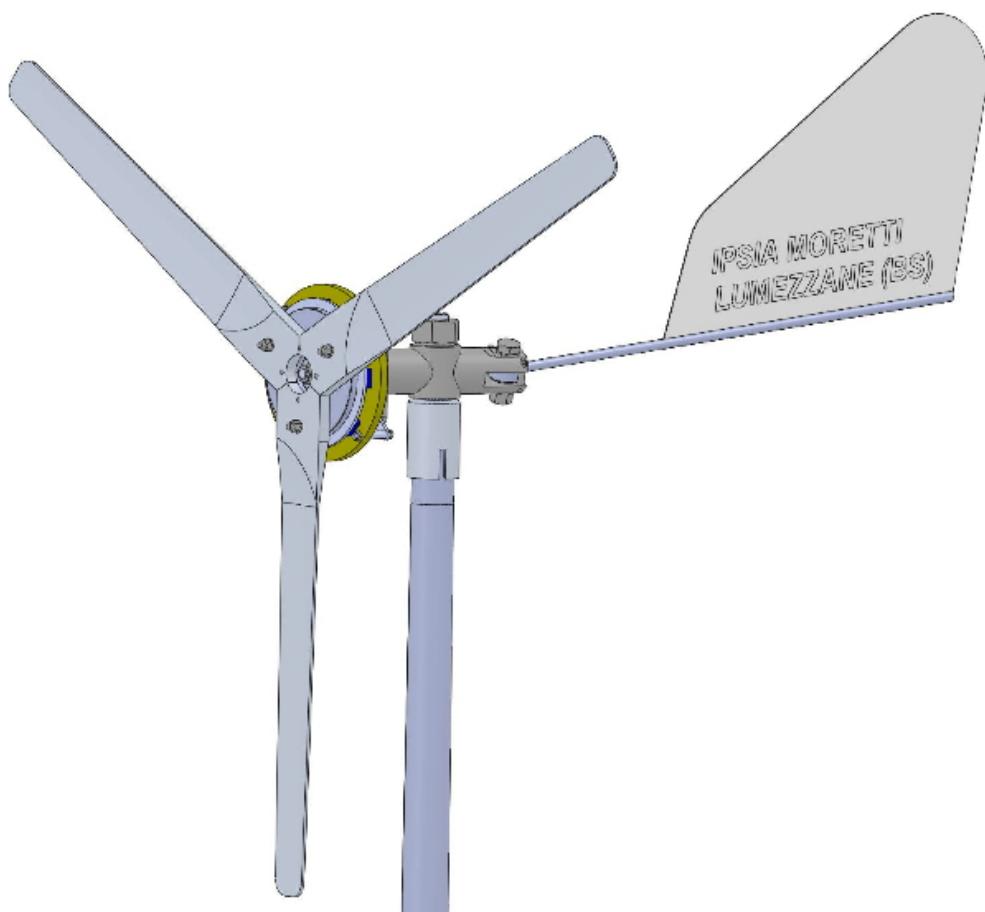


Figura 3: Rendering della turbina eolica Lumezzane

La parte più importante di una turbina eolica a magneti permanenti è costituita dal generatore. Esso non genererà tensione di rete in AC. Esso genera corrente trifase a bassa tensione e poi la converte

in corrente continua (DC) per caricare una batteria a 12 Volt.

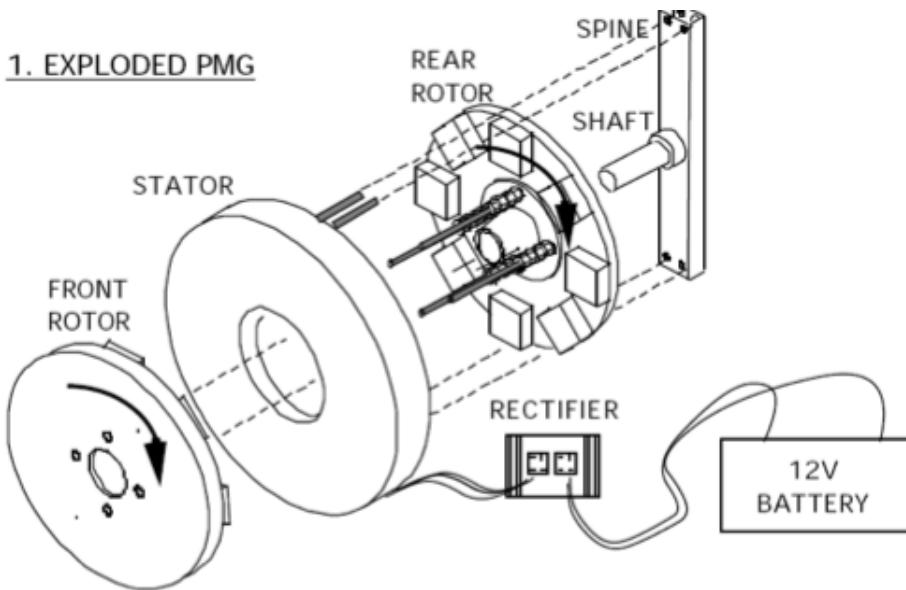


Figura 4: Esploso del generatore a magneti permanenti

Il generatore è composto da:

1. Un supporto in acciaio (spine) ed un asse (shaft)
2. Uno statore contenente bobine di filo di rame
3. Due rotori portamagneti, anteriore (front rotor) e posteriore (rear rotor)
4. Un raddrizzatore (rectifier)

Lo statore contiene 6 bobine di filo di rame, dentro una colata di resina. La forma dello statore è montata sul supporto e non si muove. I fili delle bobine danno tensione al raddrizzatore, che la converte da alternata in continua. Il raddrizzatore è montato su un dissipatore di alluminio che lo mantiene freddo. I rotori portamagneti sono montati su cuscinetti che girano sull'asse. Il rotore posteriore è dietro lo statore e vicino ad esso. Il rotore anteriore è davanti allo statore ed è connesso col rotore posteriore per mezzo di lunghe viti che passano nel foro centrale dello statore. Le pale della turbina a vento sono montate mediante delle viti sul disco anteriore dello statore. Esse fanno ruotare i rotori portamagneti, spostando i magneti sulle bobine e il flusso magnetico passa da un rotore all'altro attraverso lo statore. Questo flusso variabile è ciò che crea l'energia elettrica.

Oltre al generatore, la turbina eolica è composta anche da altri importanti componenti come:

1. Un palo in acciaio. Noi abbiamo usato un palo della pubblica illuminazione fornитoci dal

Comune di Lumezzane;

2. Il mozzo di supporto o testa di imbardata calettato sulla cima del palo che sorregge l'alternatore, le pale e la coda. Una coda per mantenere la turbina orientata col vento;
3. Le pale per farlo girare Il gruppo delle pale è montato sulla parte frontale del generatore.

La testa di imbardata e la coda devono essere costruiti in modo che il generatore possa proteggersi, quando funziona con venti molto forti.

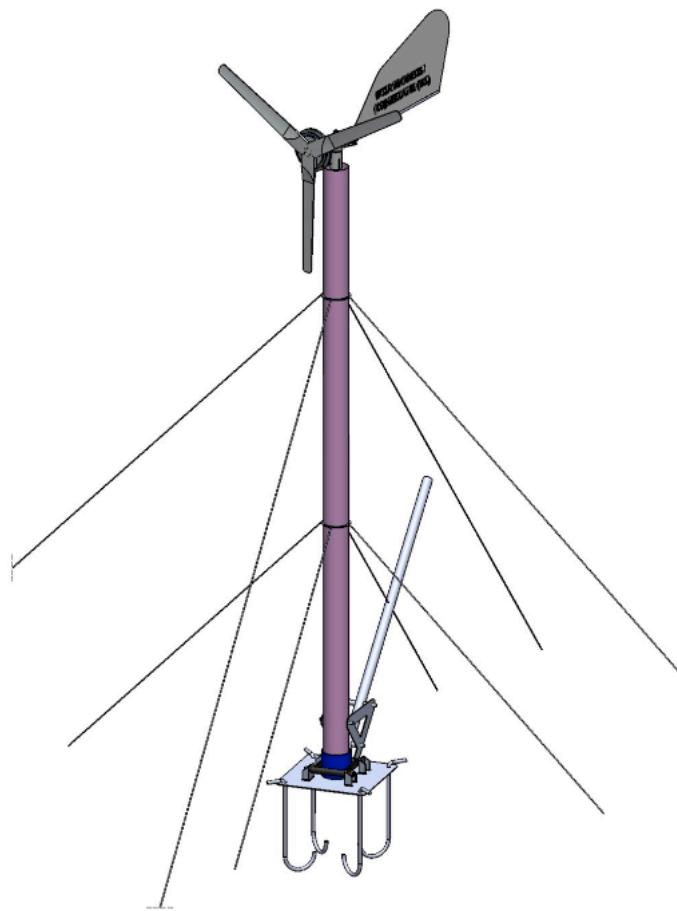


Figura 5: Turbina completa

Il generatore gira a bassa velocità. Dai nostri calcoli la turbina produce circa 220 watt di potenza con venti molto sostenuti intorno ai 10 m/sec. Purtroppo, non possiamo ancora fornire dati analitici basta su reali misurazioni dato che la turbina è stata installata solo lo scorso 26 maggio. A velocità più alta il generatore può generare più potenza. Ma la corrente surriscalda le bobine e l'efficienza peggiora. Per velocità più alte è meglio cambiare le bobine, o usando sezione diversa o cambiando il collegamento. Se il generatore è usato sempre con alte velocità, è meglio usare un filo più grosso, per portare più corrente senza riscaldarsi. Usare filo più grosso significa meno spire nelle bobine, e

anche che il generatore non funzionerebbe a bassa velocità. Per usare lo stesso generatore ad alta e a bassa velocità, è possibile cambiare le connessioni. Ci sono due modi di collegamento dello statore: a stella e a triangolo. Di seguito daremo una descrizione più dettagliata.

CARETTERISTICHE TECNICHE	
Potenza Nominale di progetto	0,22 kW a 10 m/sec
Tensione di Uscita AC	12 Volt
Corrente max	40-60 Ampere
Range di velocità del vento	4 m/sec - 12 m/sec
Diametro area spazzata	1200 mm
Torre di sostegno	4 - 6 metri
Peso	25 kg

La figura mostra il grafico potenza/velocità. Il collegamento “stella” va bene a bassa velocità, il collegamento “a triangolo” va bene per venti forti. Una versione più grande di questo generatore può dare potenze più alte a velocità più basse.

2. GRAFICO POTENZA/VELOCITA'

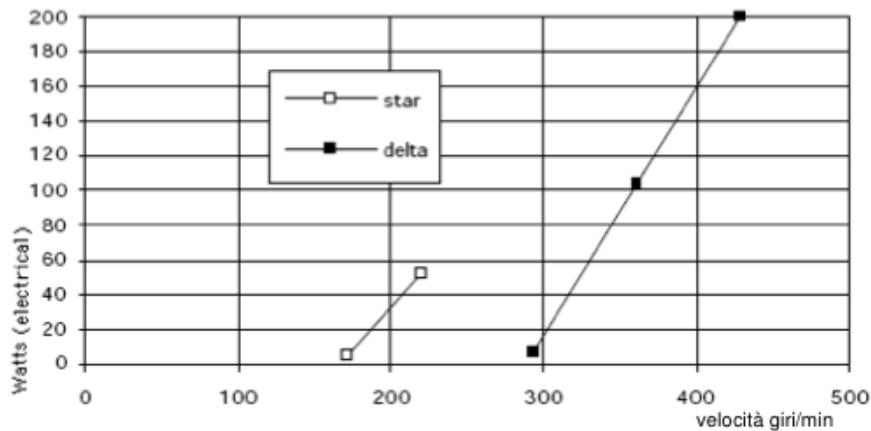


Figura 6: Potenza velocità del vento

Il principio di funzionamento

Il principio di funzionamento di un alternatore a magneti permanenti si basa su conoscenze note da più di un secolo ma la diffusione di soluzioni molto frequenti nei prodotti commerciali è dovuta essenzialmente all'uso dei magneti al neodimio. Infatti, i magneti al neodimio sono stati lo sviluppo tecnologico chiave che permette una pratica ed efficiente costruzione degli alternatori. La grande forza del neodimio è essenziale nella costruzione di hard disk per computer tanto compatti. Ora

questo materiale è disponibile commercialmente per ogni sorta di utilizzo. Molte taglie ora disponibili sono perfette per l'uso in alternatori "fai da te". Qui sotto ci sono delle foto di alcuni formati comuni che vengono usati:



Figura 7: Magneti al neodimio in varie forme

"Campo magnetico" è il termine tecnico per le linee di forza che vengono disegnate per simbolizzare ciò che avviene intorno ad un magnete. L'intensità del campo magnetico è misurata sia in Tesla (dall'inventore Nikola Tesla), sia in Gauss (dal matematico). Il simbolo B è usato per l'intensità del campo. L'intensità B diventa più forte avvicinandoci al magnete, mentre le linee vengono disegnate più vicine. In un magnete c'è sempre un polo Nord ed un polo Sud. I magneti usati hanno i poli sulle facce con maggiore area. Alcuni tipi di magneti sono più lunghi sull'asse di polarizzazione, ma un alternatore è efficiente e più leggero, quando i magneti sono grandi quanto basta e non di più.

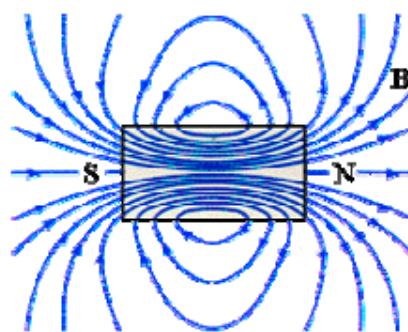


Figura 8: Campo magnetico in un magnete parallelepipedo

Quando i magneti vengono costruiti, i poli magnetici sono "congelati" con un elettromagnete esterno mentre il metallo si raffredda. Se il magnete si riscalda troppo, perde la sua forza. Poche illustrazioni migliorano la comprensione di come il campo magnetico possa essere manipolato. Quando i magneti sono attratti da un oggetto metallico, l'attrazione può essere testimoniata dalla distorsione delle linee di campo che noi vediamo sotto. Le linee sono attratte verso quell'oggetto, nello stesso modo in cui l'oggetto stesso è attratto verso il magnete. Come il

magnete si avvicina alla piastra, le linee di campo entrano dentro la piastra e si rinforzano. L'aumento di dimensione delle frecce nel diagramma qui sotto visualizza questo fenomeno.

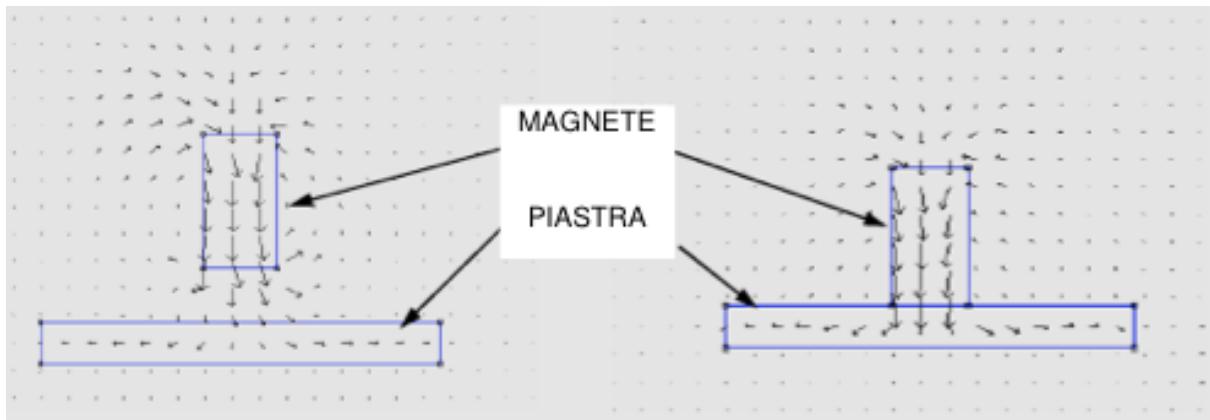


Figura 9: Linee di campo di un magnete su piastra

Quando la piastra è in contatto con il magnete, le linee di campo nella piastra diventano molto concentrate. Le linee si concentrano nella piastra e se la piastra è abbastanza spessa, sono poche linee che emergono dalla parte opposta. All'interno del magnete al neodimio la forza magnetica non cambia molto.

In un certo senso, mantenere un magnete su una piastra di ferro è come tenere una palla su un piano. La palla è attirata dalla gravità e tende a rimanere nella posizione di minima energia potenziale. Allo stesso modo con un pezzo di ferro, una volta in contatto con un magnete, l'energia potenziale è la più bassa.

Concentrazione dell'energia magnetica.

Concentrando il flusso magnetico tra due poli opposti e confinando in piastre di ferro il flusso, che altrimenti andrebbe disperso, noi dirigiamo il massimo di energia attraverso il traferro, in mezzo alle facce dei magneti. Il prodotto finale appare normalmente così:

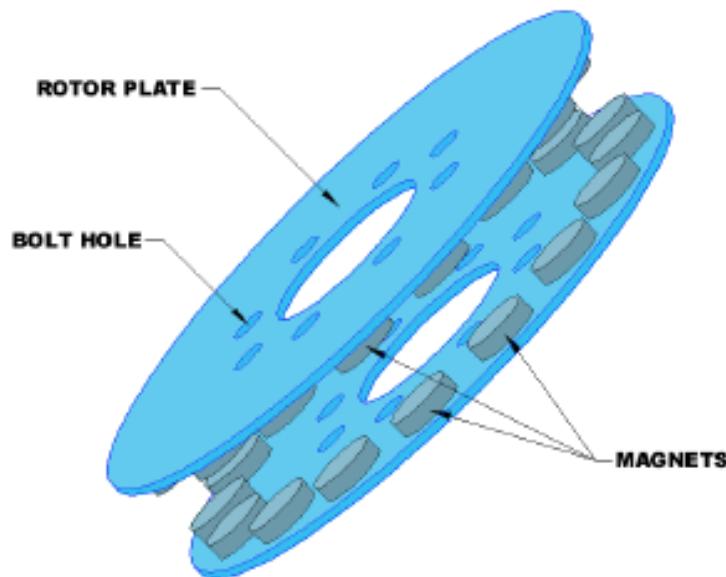


Figura 10: Rotore completo di magneti

In figura appaiono dei magneti cilindrici. Questa scelta è comune negli alternatori a flusso assiali più piccoli, ma appena si prendono alternatori più grandi è spesso più pratico usare magneti rettangolari, che sono reperibili in formati più grandi e le bobine possono essere più compatte. E' importante che i rotori siano fatti di acciaio, in modo che il flusso magnetico possa circolare in essi. I magneti sono disposti nell'ordine S-N-S-N lungo la circonferenza dei rotori. Poli opposti sono affacciati l'uno con altro. Se si segue le linee di flusso, queste passano dalla faccia di un magnete dritto verso la faccia del magnete opposto, poi passano attraverso la piastra verso il magnete successivo e poi di nuovo attraverso il traferro. Le bobine poste nel traferro catturano l'energia magnetica di queste linee di flusso.

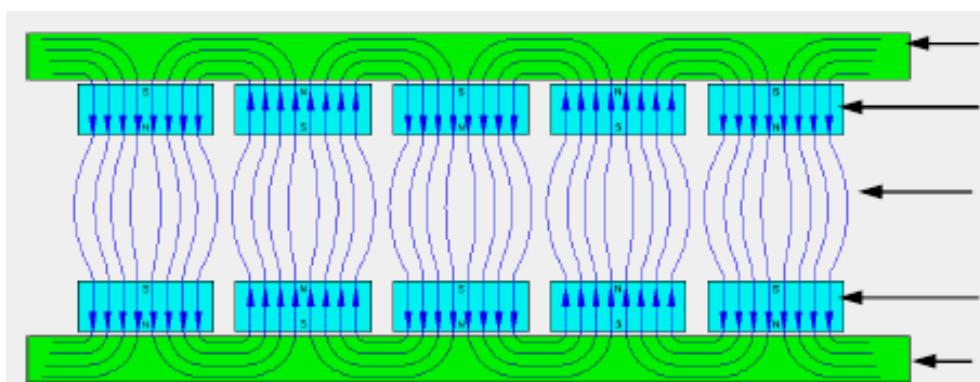


Figura 11: Campo magnetico confinato all'interno dei rotore

Il percorso del flusso magnetico sarà più chiaro con il diagramma qui sopra. Il flusso è stato concentrato confinandolo tra le piastre. Il flusso si alterna tra poli Nord e Sud. Una bussola all'interno del traferro, quando il rotore gira, oscilla avanti e indietro freneticamente. Una bussola

all'esterno delle piastre è invece debolmente influenzata, perché il flusso è stato confinato nello spazio tra le piastre.

Sfruttamento dell'energia magnetica

Ma qual'è il meccanismo che genera una corrente? Se prendiamo una semplice spira di filo (non fa molto da sola) e la immergiamo all'interno di un campo magnetico come quello da noi realizzato tra due dischi come descritto in precedenza, nulla accade quando il campo magnetico è fermo, ma quando mettete il sistema in movimento si produce una tensione. Più rapidamente cambia il campo magnetico (in aumento o in diminuzione), maggiore è la tensione prodotta.

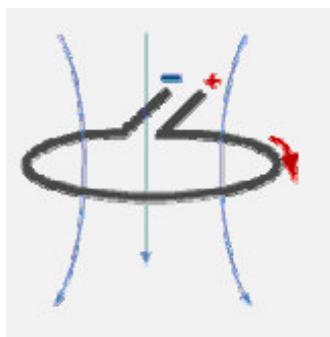


Figura 12: Spira di rame immersa in un flusso magnetico

Non importa in quale modo si realizzi la variazione del campo, per osservare il fenomeno. Potete avere magneti che si avvicinano, che oscillano avanti e indietro, che girano su se stessi o perfino non muovere per niente i magneti, ma spostare la bobina avanti e indietro. Nella nostra macchina, le bobine sono tenute ferme, mentre i magneti girano fissati sui rotori. Poiché i magneti sono disposti nella sequenza N-S-N-S, la direzione del campo si inverte al passaggio di ogni magnete. Ogni bobina vede un campo magnetico variabile e genera un impulso di elettricità. Quando il campo ha una variazione inversa, si genera un impulso di tensione opposta. Quindi, la bobina produce una tensione alternata.

Il filo può avere una grande varietà di sezioni. Il diametro del filo determina la massima corrente che lo attraversa. Un filo più grosso porta più corrente di uno sottile. I costruttori scelgono la sezione adatta per la corrente richiesta nel loro progetto, ma non più grande.

Se una spira genera una certa tensione durante la variazione di campo magnetico, allora più spire produrranno una tensione maggiore. I costruttori vorrebbero più spire di filo per produrre maggiore tensione possibile. Ma questo obiettivo si scontra con quello di ottenere più corrente, perché un filo più grosso occupa più spazio. Meno spire di filo grosso, o più spire di filo sottile? Un

compromesso è necessario per incrociare le necessità. I costruttori di esperienza sanno "ad occhio" come raggiungere il giusto compromesso. Questo è più che un mistero per i principianti.

Bobine nello statore

Il collegamento delle bobine introduce un'importante domanda nel progetto dell'Alternatore a Magneti Permanenti: tre diverse fasi o una sola?

Gli alternatori monofase sono semplici da realizzare; tutte le bobine sono collegate in serie una con l'altra e lavorano tutte insieme per produrre un ampio impulso nello stesso momento. Se da una parte la cosa è semplice, dall'altra i generatori eolici manifestano un evidente "bump" per ogni impulso. Questo può danneggiare la bontà dei generatori e causare danni da vibrazione. I costruttori usano ancora il monofase quando è conveniente, ma adattano il progetto per resistere alle vibrazioni. È ancora più complicato superare l'inefficienza quando si rettifica questa tensione per dare corrente continua alle batterie, ma questo può essere comunque fatto.

Una soluzione più elegante è avvolgere le bobine per un sistema trifase. In un certo istante solo un terzo delle bobine genera il picco di tensione, mentre le altre hanno una tensione in calo oppure in salita verso il picco successivo. La vibrazione viene ridotta non solo perché si hanno picchi di corrente ridotti ad 1/3, ma anche perché sono tre volte più frequenti. Raddrizzando la tensione trifase per caricare una batteria in CC, la tensione di uscita è molto più livellata. Il costo del maggior numero di raddrizzatori non è considerato un ostacolo. Questi non hanno problemi di durata se scelti con criterio.

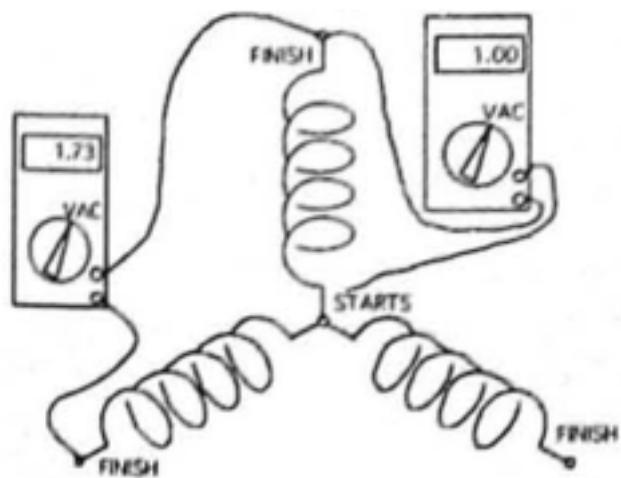


Figura 13: Collegamento a triangolo

Quando le bobine vengono bloccate insieme in una colata di resina di forma piatta, esse vanno a formare l'unità detta "stator" (questo rimane "statico", mentre i rotori girano). I costruttori

usualmente collegano le bobine “a stella” in uno stampo piatto. Nello stampo versano resina poliestere o epossidica. Chiudono lo stampo e quando la resina è indurita, lo statore esce fuori sotto forma di disco con le bobine incapsulate dentro. Tutte le connessioni interne sono state realizzate preventivamente. Oppure se si vuole una particolare disposizione trifase, o se si lasciano parecchi fili fuoriuscire, è possibile modificare le connessioni dall'esterno.

Accoppiamento di Bobine e Magneti.

In un alternatore che produce energia trifase, un gruppo di bobine è nel picco di massima tensione e le altre no. Pertanto i magneti sono allineati con una fase per volta. Invece di immaginare come questo possa essere fatto partendo da zero,. Per ogni bobina di filo di uno statore trifase, ci sono 1,33 magneti.

Bobine	Magneti	Bobine per fase
6	8	2
9	12	3
12	16	4
15	20	5
18	24	6

Il numero in assoluto più basso di bobine in un sistema trifase è tre, una per ogni fase. Perciò avreste bisogno minimo di 4 magneti. In effetti, questo dovrebbe essere abbastanza banale. Nella tabella in alto ci sono le combinazioni tipiche. Superando i 24 magneti le cose si complicano ed i principianti dovrebbero stare attenti. Allo stesso tempo variando il rapporto tra magneti e bobine si va incontro a rogne, a meno che non si conosca come evitare gli inconvenienti di un alternatore monofase.

Accoppiamento di un Alternatore con le Pale.

La decisione di quanti bobine/magneti mettere in un alternatore è alquanto arbitraria. Di base, più bobine ci sono e più tensione si produce (a parità di altri parametri). Lo statore produrrà meno corrente, ma questo potrà essere deciso in base “range” di velocità che cattura più energia nel lungo tempo.

Bene fin qui, ma nulla è stato detto sul mulino di pale che alla fine sarà attaccato all'alternatore. Nel momento di definire la configurazione dello statore, bisogna considerare il progetto e la dimensione del mulino. Il mulino deve girare piano o veloce? Ci sono venti forti che, se imbrigliati, possono portare vantaggio? Oppure i venti sono normalmente leggeri e richiedono un mulino che tira il massimo da brezze leggere?

Una volta che la dimensione e il range di velocità del mulino sono stati scelti, il costruttore può

procedere con la selezione di una configurazione di statore. Normalmente, l'utilizzazione di queste macchine è quella di caricare le batterie. Se si collegano il generatore a magneti permanenti ad un raddrizzatore ed il raddrizzatore alle batterie, si potrà limitare efficacemente la tensione sotto un determinato valore, 12V, 24 o a volte 48 V, in dipendenza del sistema. La dimensione e le spire del filo saranno determinati per produrre la giusta tensione.

Le batterie sono un carico per l'alternatore. La tensione di carica salirà fino al livello di picco (circa il 10% al di sopra della tensione standard della batteria) e tutto il guadagno sarà nella corrente prodotta. Questo comporta maggior lavoro per l'alternatore per produrre maggior tensione. Nel caso del mulino, venti più alti fanno girare più velocemente l'alternatore e forniscono più energia per superare carichi pesanti. Se le pale sono troppo piccole, comunque, potrebbero non avere abbastanza energia per far partire l'alternatore con venti bassi. Se le pale sono troppo grandi, l'alternatore potrebbe non caricare efficacemente il mulino, che girerebbero troppo velocemente.

Lo statore – le bobine e lo stampo di colata

Il rotore

Per realizzare i dischi portamagneti sono stati utilizzati dei dischi rigorosamente in acciaio dello spessore di circa 6 mm. Qualsiasi altro tipo di metallo non avrebbe consentito la formazione del giusto campo magnetico. Al centro del disco è stato eseguito un foro da 65 mm di diametro per il posizionamento degli altri componenti. I magneti sono stati posizionati lungo otto scanalature eseguite alle macchine utensili sui dischi. Si è seguito lo schema di posizionamento alternando le facce Nord-Sud e in più occasioni si è rischiato l'incidente a causa della forte attrazione tra i magneti. Per bloccare i magneti in posizione è stata usata una colla speciale per metalli ma la forza di attrazione tra i magneti e il disco in metallo risultava già abbastanza forte.

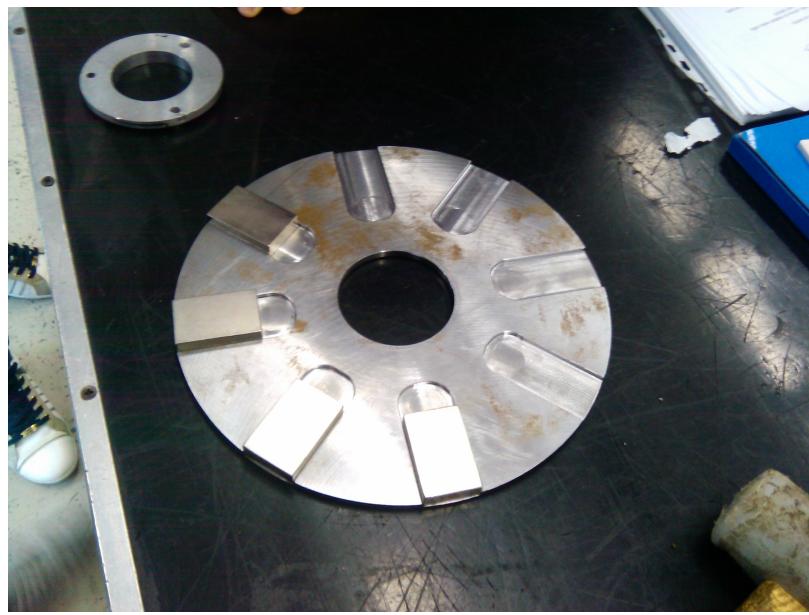


Figura 14: Disco scanalato e alcuni magneti

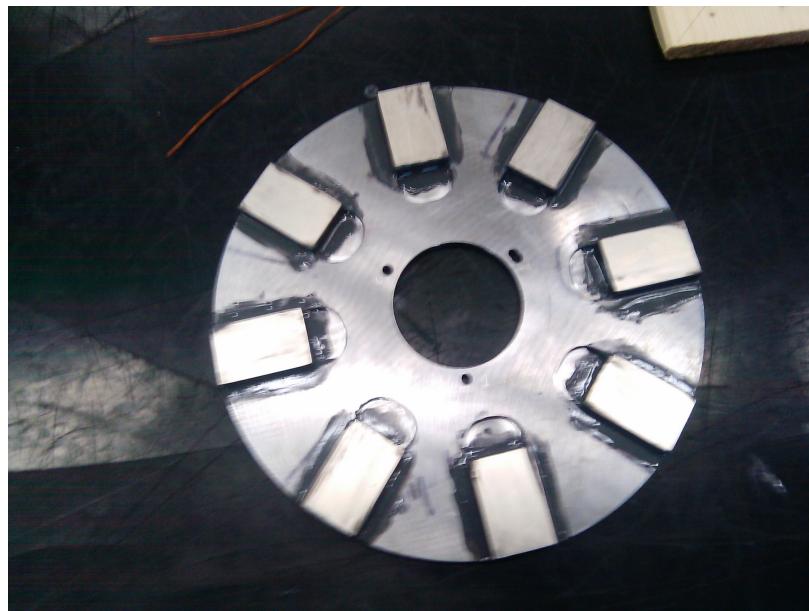


Figura 15: Disco rotore con i magneti in posizione

Le bobine

Lo statore contiene sei bobine (coils) di filo di rame.

Per assicurare la giusta posizione delle bobine all'interno dello statore è stato realizzato uno stampo in legno dove annegare nella resina le bobine di filo di rame.

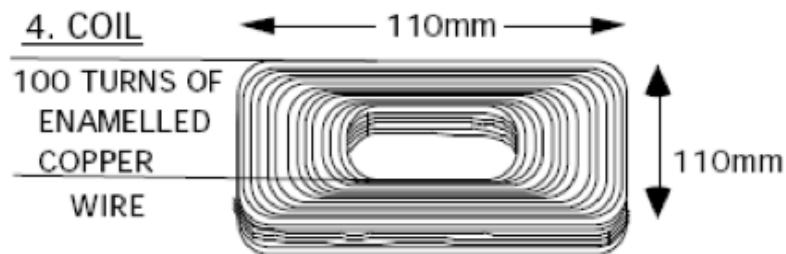


Figura 16: Bobina

Le bobine sono state realizzate avvolgendo un filo di rame laccato su un rocchetto di metallo creando una matassa di spire così come mostrato in figura. Se per avvolgere le bobine venisse usato un normale filo isolato, andrebbe perso un sacco di spazio a causa dell'isolante di plastica. Quando le bobine di filo smaltato vengono avvolte, ogni spira è isolata dalle altre e si raggiunge la massima compattezza. L'avvolgitore è stato montato sulla parte finale di una manovella, tra due fiancate. La forma interna dell'avvolgitore è 50 x 50 mm con spessore di 13 mm con bordi arrotondati. Le due fiancate sono 125 x 125. Ci sono degli intagli da 20 mm nella parte alta e nella parte bassa. Gli intagli servono per mettere il nastro adesivo sotto l'avvolgimento, in modo che possa essere nastrato prima che venga rimosso dall'avvolgitore.



Figura 17: Avvolgitore



Figura 18: Processo di avvolgimento delle spire

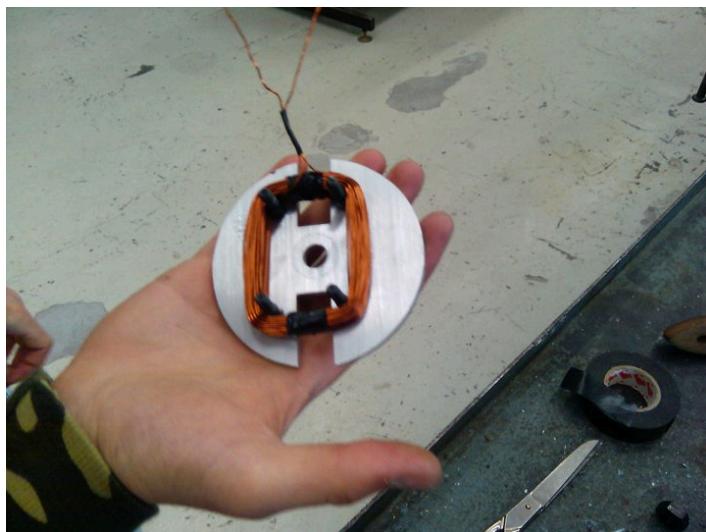


Figura 19: Bobina completa

Le bobine devono essere disposte tutte allo stesso modo come di seguito mostrato.

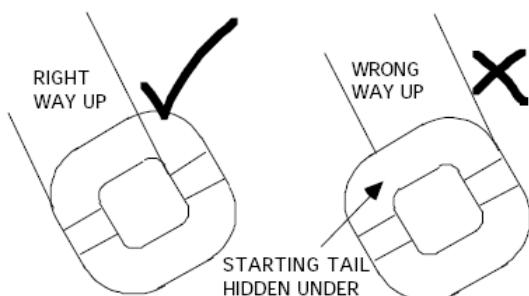


Figura 20: Come avvolgere le spire

Una volta etichettate le code delle bobine si è proceduto con una prova della disposizione delle bobine per verificare se entravano nello stampo di colata dello statore.

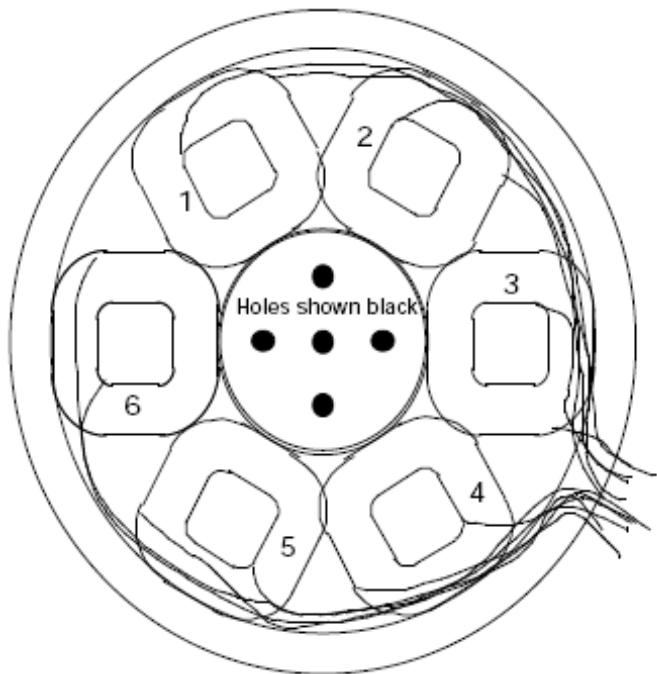


Figura 21: Disposizione delle bobine

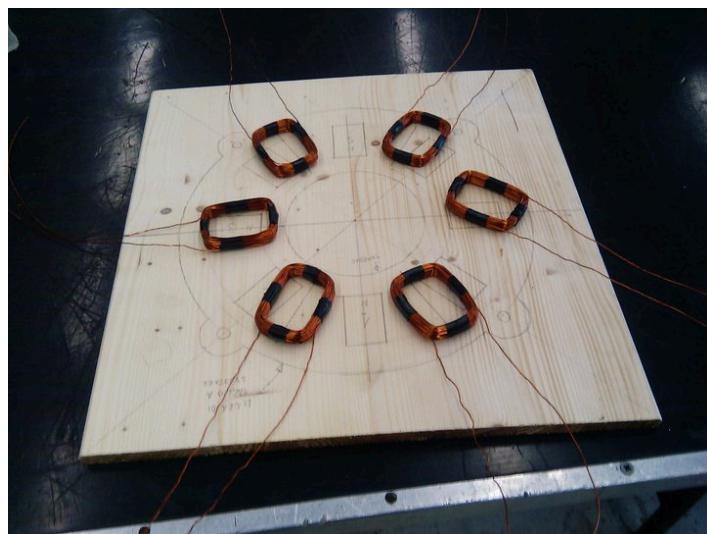


Figura 22: Test di prova bobine

La colata

Una volta preparate le bobine e lo stampo in legno sello statore abbiamo proceduto alla colata della resina. La figura seguente mostra l'assemblaggio di tutte le parti. Miscelata la resina col catalizzatore con decisione ma lentamente per evitare la formazione di bolle si è proceduto immediatamente alla colata in quanto dopo pochi minuti dalla miscelazione si riscalda e comincia ad indurire. Per facilitare il distaccamento dallo stampo abbiamo ricoperto lo stampo con una pellicola domopak. Per accelerare il processo di indurimento della resina abbiamo posto al caldo lo stampo.

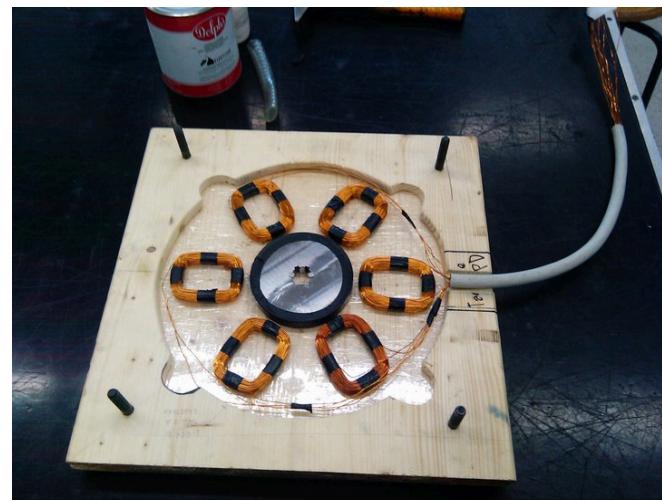


Figura 23: Preparazione dello stampo



Figura 24: La colata 1



Figura 25: La colata 2



Figura 26: Stampo chiuso

Quando la resina era ben indurita, è stato rimosso lo stampo con delicatezza allentando le viti e spingendo fuori lo statore di resina. Questo è il risultato finale.

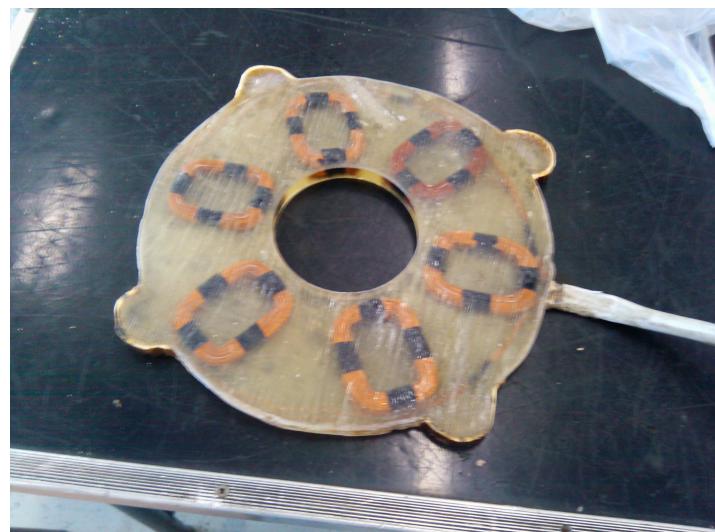


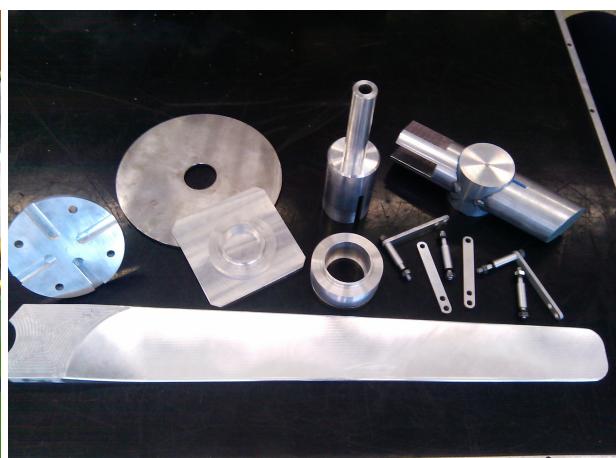
Figura 27: Statore completo

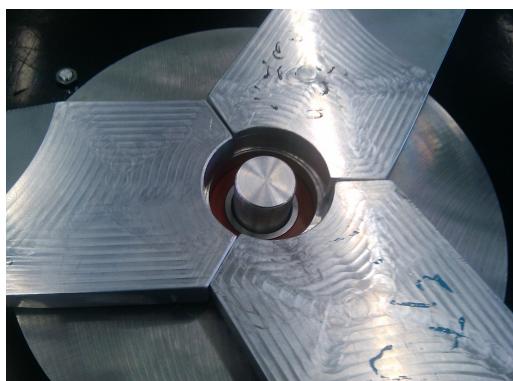
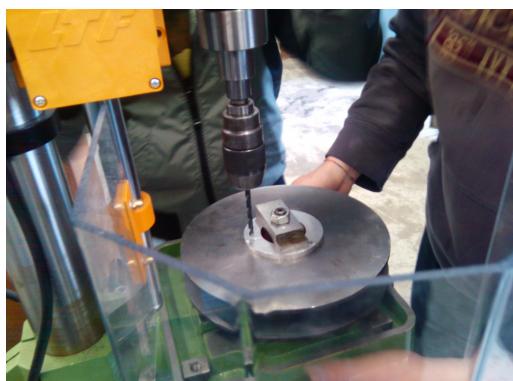
Il mozzo

Tutte le parti meccaniche sono state realizzate alle macchine utensili disponibili presso la nostra officina. Soltanto per due pezzi si è ricorso alla collaborazione di due officine esterne (UBF di Lumezzane e LOMETRIL di Monticelli Brusati) che ci hanno aiutati nella fresatura delle scritte della coda e nella realizzazione delle pale in alluminio.

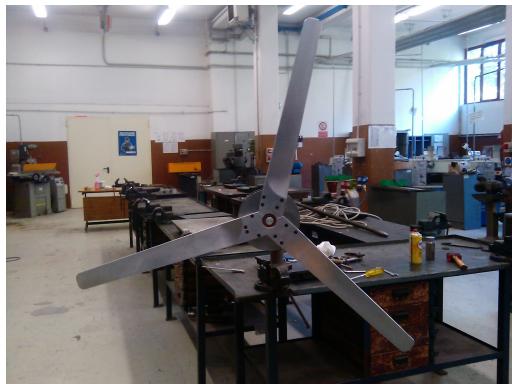
Di tutti i pezzi vengono riportati in appendice i disegni e i cicli di lavorazione con una stima dei tempi e dei costi di produzione di un singolo pezzo supponendo che pensando di commercializzare le

turbine in un anno sene possano vendere 25 unità. Di seguito una serie di fotografie che raccontano quanto realizzato.









Le pale

Le pale sono state realizzate con l'aiuto di una ditta esterna (LO.ME.TRIL.) che mediante l'ausilio di un centro di lavoro a controllo numerico ha fresato le pale da un unico blocco di alluminio. Per quanto riguarda la forma delle pale ci siamo attenuti alle indicazioni presenti in letteratura adottando un profilo ribassato la cui validità sarà verificata dopo l'installazione mediante delle misurazioni.



Figura 28: Pala in alluminio

La coda

La coda nella turbina ha la funzione di posizionare correttamente la turbina verso la direzione principale del vento. Nel nostro caso inoltre è stato ideato un meccanismo detto di regolazione dell'imbardata che consente alla turbina di ripiegarsi su se stessa qualora il vento fosse troppo forte rischiando di abbattere il palo di sostegno della turbina. Sebbene esistano sistemi più sofisticati come ad esempio il metodo dello svergolamento delle pale, per una macchina di piccola taglia questo sistema risulta la soluzione più semplice. Vediamo come funziona.

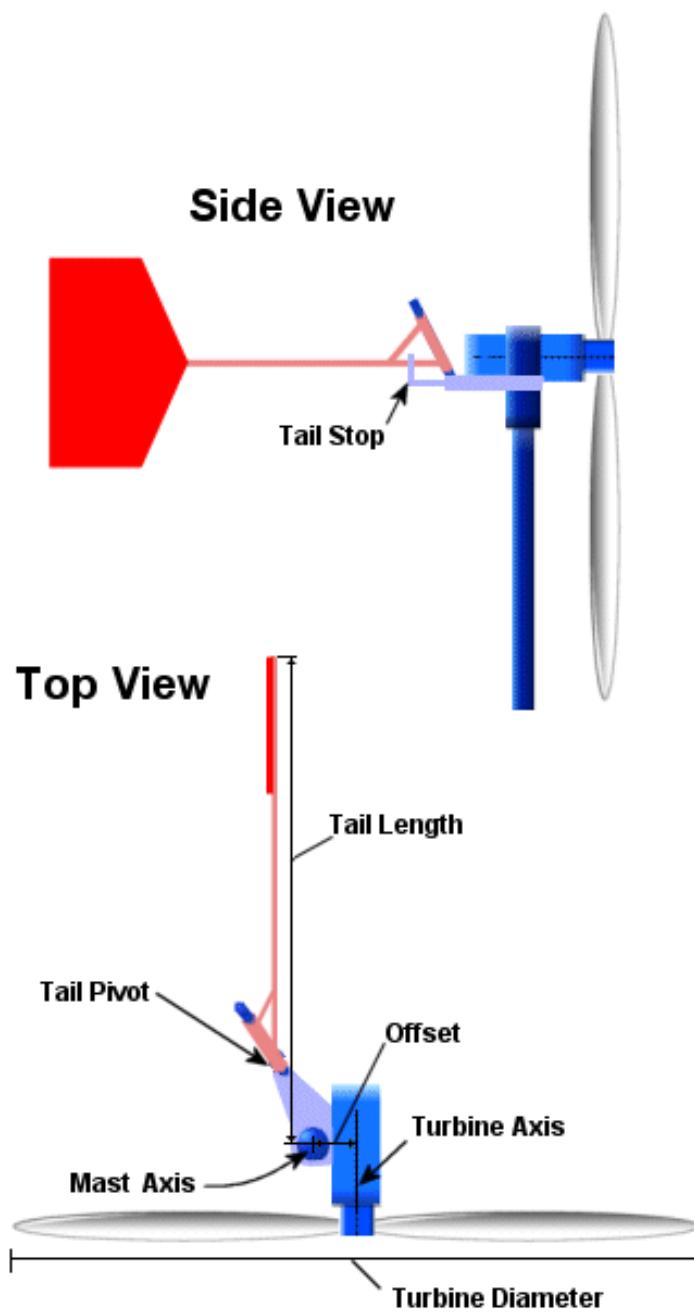
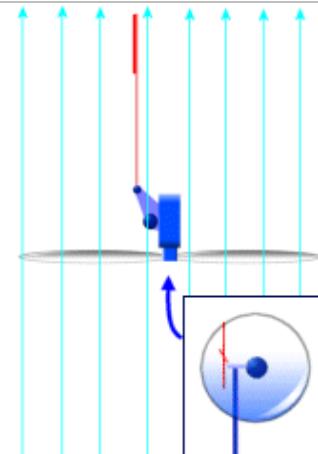


Figura 29: Sistema anti-furling

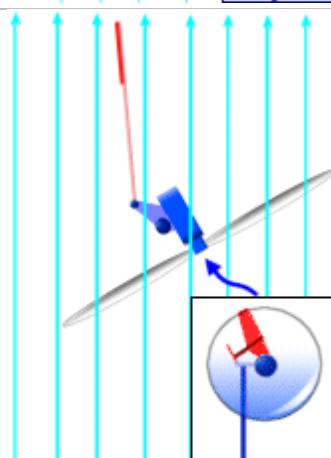
Venti leggeri No furling

Il peso della coda è più grande della forza del vento sulla che preme sulla turbina pertanto la coda risulta allineata alla direzione del vento.



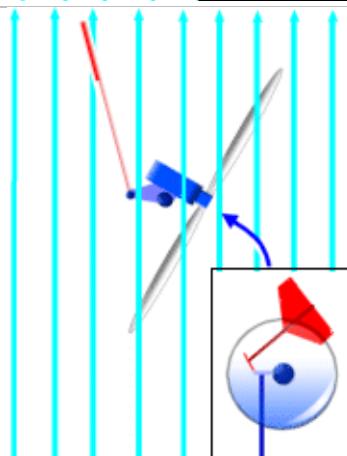
Venti di media intensità Innescò del furling

La forza del vento è più grande del peso della coda e inclina il rotore. Il sistema di furling si auto equilibra



Venti di alta intensità Innescò completo del sistema di furling

Il vento molto forte vince il peso della coda e richiede la turbina proteggendola da una rottura catastrofica



Assemblaggio e bilanciamento del rotore

Ogni rotore dovrebbe essere bilanciato, altrimenti il generatore vibra mentre gira. L'intero generatore deve essere bilanciato di nuovo alla fine, perché i rotori potrebbero essere centrati non esattamente. Per bilanciare il rotore e le pale si sono usate dei piombini che hanno bilanciato il peso delle tre pale come mostrato in figura seguente. Montando il supporto verticalmente in una morsa. Il rotore sono liberi di muoversi. Girando il rotore ed ascoltando il rumore abbiamo verificato che

non ci fosse alcun fruscio o strisciamento del rotore nella rotazione. Inoltre, facendolo girare liberamente abbiamo verificato che girasse liberamente per molti secondi e si fermasse lentamente.



Figura 30: Bilanciamento delle pale

Prove e collegamenti.

Le sei bobine dello statore sono stato collegate in modo da formare un collegamento a stella dove per ogni ramo della stella ci sono due bobine in serie poste una a 180 gradi ciascuna. Il collegamento è il seguente:

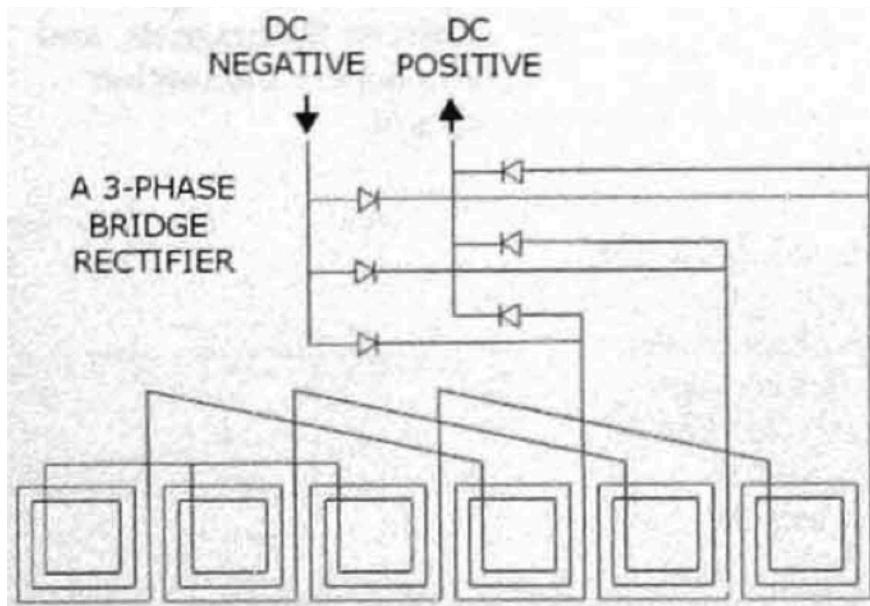


Figura 31: Schema di collegamento delle bobine

In cima alla turbina è stato necessario posizionare uno split ring per evitare che i cavi si attorcigliassero lungo il cavo di collegamento dal mozzo turbina alla base del palo di sostegno.

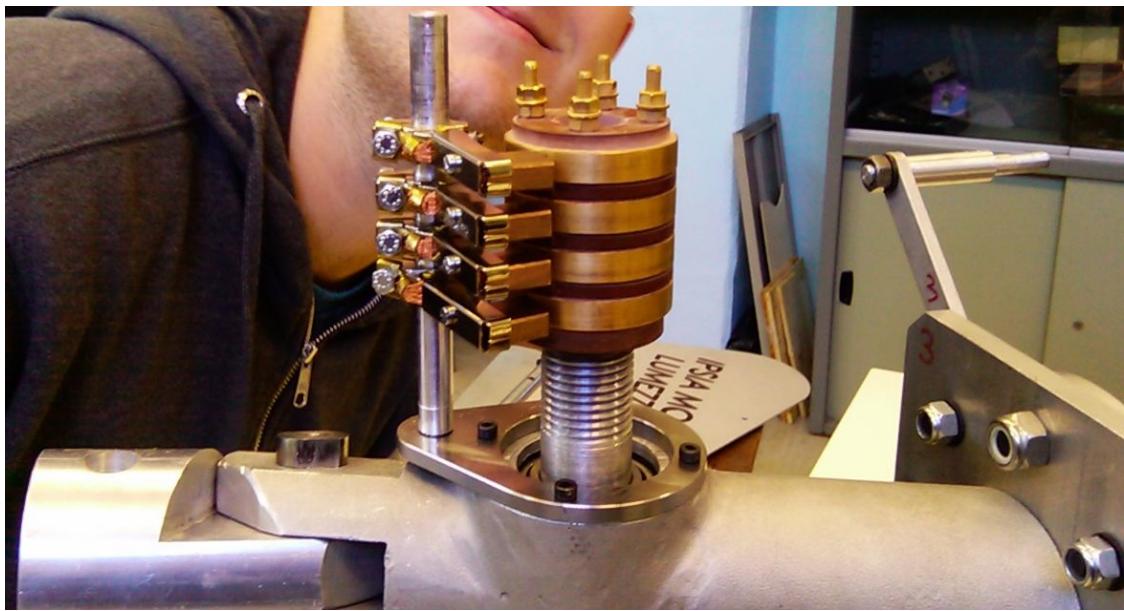
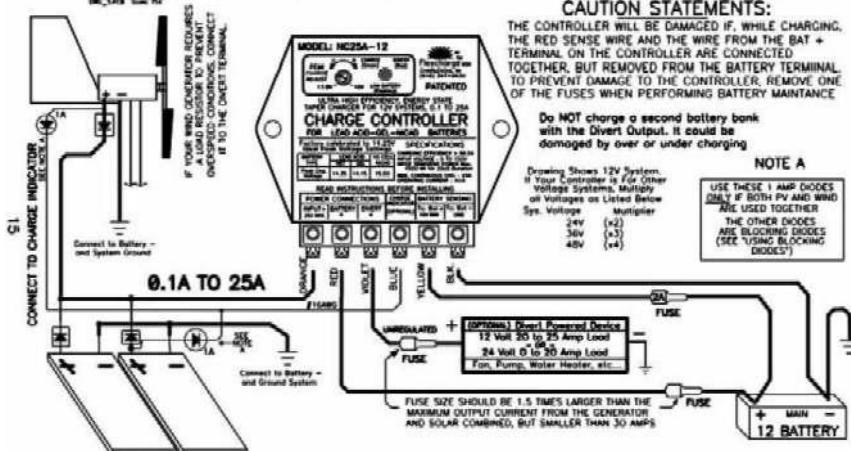


Figura 32: Split ring

La nostra turbina elettrica non è collegata alla rete elettrica nazionale ossia è un sistema detto *off-grid* pertanto, si è pensato di utilizzare l'energia prodotta dalla turbina per caricare una batteria 12 V dalla quale è possibile prelevare una corrente continua utile ad esempio per far funzionare una lampadina o una stufa elettrica o un ferro da stiro. Sovraccaricare la batteria può danneggiarla. All'inizio, quando la batteria è scarica, è normale usare un'alta corrente, ma poi la corrente deve essere ridotta altrimenti la batteria si surriscalda e le piastre si danneggiano. Il modo migliore per caricare completamente la batteria è quello di usare una piccola corrente per molto tempo. E' stato quindi necessario realizzare un circuito di carica che prevedesse il controllo della carica per non sovraccaricare la batteria quando quest'ultima ha raggiunto il limite di carica e conseguentemente dissipare l'extra produzione tramite un carico resistivo che trasforma l'energia in calore. Anche scaricare troppo danneggia le batterie. Nel caso di un sistema eolico bisogna aspettare il vento per caricare le batterie. Ma bisogna stare attenti a non scaricare troppo le batterie o lasciarle scariche troppo a lungo, altrimenti ne saranno danneggiate (solfatare) e diventeranno inservibili. Per fare questo si è usato un regolatore di carica facilmente disponibile in commercio collegato come riportato nella scheda seguente.

CHARGING FROM WIND AND SOLAR AT THE SAME TIME INTO ONE BATTERY BANK

CAUTION STATEMENTS:



READ – VERY IMPORTANT !!!!

The blocking diodes on the solar panels MUST HAVE A VOLTAGE RATING OF AT LEAST 200V to protect the panels from high voltage spikes that are normally produced by permanent magnet generators. THE PANELS WILL BE DAMAGED IF THESE DIODES ARE NOT USED.

Figura 33: Il regolatore di carica

Non c'è pericolo di scossa su una batteria a 12 Volt, ma se il generatore è scollegato dalla batteria e gira veloce, la tensione sarà più alta di 12 Volt, anche fino a 50 volt.



Figura 34: Regolatore di carica, carico resistivo e raddrizzatore

Una buona maniera per usare più corrente è caricare più batterie con il tempo ventoso, per esempio caricando le batterie delle case vicine.

L'installazione

L'installazione è stata fatta giorno 26 maggio 2012 presso il colle San Bernardo su un lotto che la nostra scuola ha avuto in concessione per 5 anni mediante una convenzione con il Comune di Lumezzane. La turbina è stata issata su un palo di acciaio normalmente usato per la pubblica illuminazione fornita anch'esso dall'amministrazione comunale. Il palo è incernierato alla base su un plinto in *cls* e sorretto da una serie di 8 strali in acciaio. Questo sistema si è reso necessario per consentire l'abbattimento del palo in occasione delle manutenzioni o eventuali modifiche. All'altezza di circa 1,5 metri è stata predisposta una cassetta contenente tutta la parte riguardante il regolatore di carica.



Figura 35: Sistema di ancoraggio

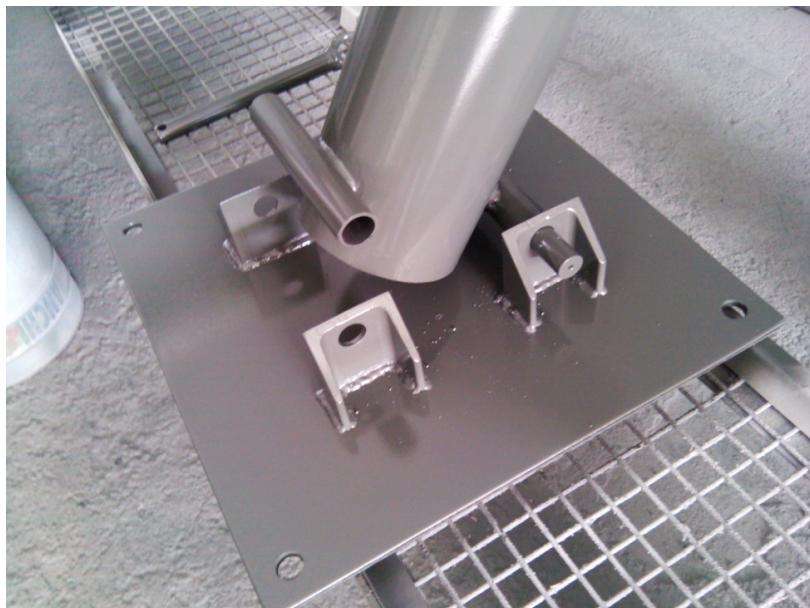


Figura 36: Sistema di ancoraggio: cerniera

Appendice