



---

In collaborazione con:



DATA: 15/12/05

VERSIONE: 1.1

**ISF-NAPOLI Ambiente & Sviluppo  
PROGETTO MICROEOLICO**

---

	<b>NOME</b>	<b>FIRMA</b>
REDATTO DA :	FRANCESCO PARAGGIO	
CORRETTO DA :	FRANCESCO REALE	
APPROVATO DA :	FRANCESCO POMICINO	

---

---



<b>1.0 EVOLUZIONE DELL'IDEA .....</b>	<b>4</b>
1.1 BREVE SINTESI DEL PROGETTO .....	4
1.1.1 MISSIONE.....	4
1.1.3 OBIETTIVI.....	4
1.2 I PRINCIPALI PRODOTTI/SERVIZI OFFERTI.....	4
1.3 I PUNTI INNOVATIVI DELLA TECNOLOGIA E DEL SERVIZIO.....	4
1.4 IL GRUPPO PROPONENTE.....	4
<b>2.0 MACROAMBIENTE .....</b>	<b>7</b>
2.1 ANALISI DEL CONTESTO.....	7
2.1.1 IL PREZZO DELLE FONTI FOSSILI.....	7
2.1.2 CRISI ENERGETICA.....	9
2.2 NUOVE TECNOLOGIE.....	10
2.3 PRODUZIONE ENERGETICA DECENTRALIZZATA.....	10
2.4 INDOTTO LOCALE .....	12
2.4.1 IMPATTO SUL TERRITORIO LOCALE DELLA TECNOLOGIA PROPOSTA .....	12
2.4.2 TRASFERIMENTO DI CONOSCENZE E COMPETENZE SUL TERRITORIO .....	13
2.5 POSSIBILI SVILUPPI IN ITALIA.....	13
2.5.1 ASPETTI NORMATIVI.....	14
2.5.2 OBIETTIVI NAZIONALI NELLA PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE RINNOVABILE.....	15
2.5.3 OPPORTUNITÀ DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA DA MICROEOLICO .....	15
2.5.4 BARRIERE NELLA PRODUZIONE DI ENERGIA DA MICROEOLICO.....	16
<b>3.0 LA TECNOLOGIA .....</b>	<b>17</b>
3.1 I SISTEMI IBRIDI.....	17
3.2 IL FOTOVOLTAICO .....	17
3.2.1 UTILIZZO DEL FOTOVOLTAICO NEI PVS .....	20
3.2.3 INDAGINE DI MERCATO.....	21
3.3 IL MICROEOLICO .....	21
3.3.1 IL MICROEOLICO AUTOPRODOTTO E A BASSO COSTO .....	23
3.3.2 STORIA DELLA TECNOLOGIA.....	25
3.3.3 "STATO DELL'ARTE" DELLA TECNOLOGIA DI RIFERIMENTO .....	28
3.3.3.1 INDAGINE DI MERCATO.....	28
3.3.3.2 SCELTA DELLE TURBINE.....	28
3.3.3.2.1 TURBINE INDUSTRIALI .....	28
3.3.3.2.2 TURBINE AUTOPRODOTTE.....	28
<b>4.0 GLI AMBITI DI INNOVAZIONE.....</b>	<b>29</b>
4.1 INNOVAZIONI DI PROGETTO.....	29
4.2 INNOVAZIONE DI PROCESSO .....	30
4.3 INNOVAZIONE DI PRODOTTO .....	30
<b>5.0 RICERCA &amp; SVILUPPO .....</b>	<b>31</b>
5.1 OBIETTIVI DI BREVE, MEDIO E LUNGO TERMINE.....	31
5.1.1 OBIETTIVI A BREVE TERMINE.....	31
5.1.2 OBIETTIVI A MEDIO TERMINE .....	32
5.1.3 OBIETTIVI A LUNGO TERMINE .....	32
5.2 FATTORI CRITICI DI SUCCESSO.....	32
5.3 STRUMENTI E METODOLOGIE DI RICERCA .....	33
5.2.1 SOFTWARE OPEN SOURCE E TESTI PROTETTI DA LICENZE CREATIVE COMMONS.....	33
5.2.2 DIRECT E REVERSE ENGINEERING.....	34



<b>6.0 MICROAMBIENTE .....</b>	<b>35</b>
6.1 PIANO FINANZIARIO .....	35
6.2 RISORSE E COMPETENZE .....	36
6.2.1 LA STRUTTURA ORGANIZZATIVA E I RUOLI.....	36
6.2.2.1 UNIVERSITÀ.....	36
6.2.2.2 ENEA.....	38
6.2.2.3 INGEGNERIA SENZA FRONTIERE - Napoli .....	38
<b>7.0 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....</b>	<b>40</b>
<b>8.0 INDICE DELLE FIGURE.....</b>	<b>42</b>
<b>9.0 ALLEGATI.....</b>	<b>42</b>



## 1.0 EVOLUZIONE DELL'IDEA

### 1.1 BREVE SINTESI DEL PROGETTO

#### 1.1.1 MISSIONE

**Sviluppo, miglioramento e trasferimento tecnologico, produzione e installazione di piccoli impianti eolici ibridi a basso costo per la generazione di energia elettrica. Sviluppo di piani energetici ed ambientali locali per i paesi in via di sviluppo.**

#### 1.1.3 OBIETTIVI

ISF-Napoli, Dipartimento Ambiente & Sviluppo, intende diventare riferimento nazionale per le ONG e per le amministrazioni locali che operano nei Paesi in via di Sviluppo nella costruzione, progettazione, installazione e trasferimento di know-how di impianti eolici ibridi tecnologicamente avanzati costruiti con materiali a basso costo e nello sviluppo di piani energetico ambientali locali.

#### **Miglioramento Tecnologico**

Al centro di tutto vi è il miglioramento tecnologico, la progettazione, la costruzione e l'installazione di questi impianti nel contesto dei Paesi in via di Sviluppo.

#### **Tecnologie appropriate**

Particolare attenzione è data alla scelta di tecnologie appropriate al contesto socio-economico ed ambientale in cui si riconosce lo scopo del progetto.

### 1.2 I PRINCIPALI PRODOTTI/SERVIZI OFFERTI

Il vento è presente quasi ovunque. Il sole ovunque. Per sfruttare al meglio queste risorse nel contesto attuale sono necessari **microimpianti decentralizzati**. Oltre agli effetti positivi per l'ambiente, la decentralizzazione della produzione energetica garantisce molteplici effetti macro e micro-economici come la creazione di un forte effetto occupazionale e una nuova fonte di reddito, il coinvolgimento di fornitori locali per la costruzione degli impianti, delle amministrazioni locali, ma anche il consumo dell'energia elettrica dagli utenti locali garantisce un sistema con forte impatto locale, positivo per tutto il territorio coinvolto.

### 1.3 I PUNTI INNOVATIVI DELLA TECNOLOGIA E DEL SERVIZIO

Le parole chiavi sono: **impianto appropriato, sostenibile, economico e facilmente gestibile**. Al centro dell'attività vi è la ricerca e lo sviluppo. Questi garantiscono il know-how necessario per progettare impianti piccoli, ma di alto contenuto tecnologico. Sulla base di un'indagine dell'esistente saranno sviluppate ulteriori tecnologie che permetteranno lo sviluppo di piccoli impianti molto efficienti/efficaci, appropriate.

### 1.4 IL GRUPPO PROPONENTE

***Ingegneria senza frontiere Napoli*** (ISF), è un'associazione di promozione sociale nata a Napoli nel Gennaio 2005 che aderisce alla rete Italiana delle ISF, presente in 20 Università ed attiva sul territorio italiano da quasi 10 anni tutte aderiscono ad una comune carta dei principi ed operano nel settore della cooperazione allo sviluppo



## Ingegneria Senza Frontiere NAPOLI

internazionale e locale cercando di rispondere concretamente alle necessità delle comunità più svantaggiate. L'associazione sta realizzando progetti internazionali e locali e si focalizza sulle seguenti tematiche:

### **Telerilevamento**

E' attivo un canale di collaborazione ISF- Dipartimento di Elettronica e Comunicazioni " Federico II" per tirocini, tesi di laurea e collaborazioni come il progetto Goma in cui sono stati avviati contatti con l'Osservatorio Vulcanologico locale per il reperimento mappe e con l'ONU ed è stato realizzato uno studio sul rischio sismico e sulla vegetazione. Inoltre ha avuto la **menzione speciale allo Start Cup Campania** con il progetto "**Telerilevamento per i paesi in via di sviluppo**". A valle è in procinto la presentazione in un convegno a Mantova sull'uso del telerilevamento in ambito urbano, mentre è già stato realizzato con il gruppo TIC un seminario sull'uso del GRASS. Un suo partecipante è stato l'assegnatario del primo dottorato di ricerca in Italia sul telerilevamento nei Paesi in via di Sviluppo presso l'Università degli studi di Napoli "Federico II"

### **Tic**

Si sta organizzando un importante evento per Marzo 2006 che vedrà la presenza di R.Stallmann il maggior esperto internazionale di piattaforme Linux con la collaborazione del Dott. Ventre. Sono allo studio possibili tesi con il Dipartimento DIS dell'Università Federico II di Napoli sui portali interattivi e si sta avviando un laboratorio di Trashware per il riuso di computer obsoleti.

### **Ambiente & Sviluppo**

Rapporti con il dipartimento DETEC dell'Università Federico II di Napoli per lo studio e la realizzazione di questo progetto sul Microeolico. Pubblicazione di un documento per le pubbliche amministrazioni sull'eolico. Per il progetto Madagascar è stata realizzata una cella di compostaggio per lo smaltimento dei rifiuti ed è allo studio una possibile applicazione di fonti rinnovabili.

### **Gfr**

E' appena partito in collaborazione con gli altri gruppi un progetto di mappatura del disagio urbano ed in parallelo si sta organizzando un seminario sull'etica. E' attiva una collaborazione con il Dipartimento di Pianificazione Urbana e Territoriale.

### **Promozione**

E' stato presentato il bando di concorso nazionale per il logo di ISF Italia e si sta creando una piattaforma web.

### **Progetti Internazionali**

- **GOMA** ISF ha inoltre finanziato la comunità del " Don Bosco" per un sistema raccolta acqua,ha realizzato in collaborazione con tecnici locali un inceneritore ed oltre alla collaborazione con il Dipartimento di Elettronica e comunicazioni è in procinto con l'avvio di una tesi sui meccanismi di potabilizzazione delle acque. Inoltre è allo studio una possibile connessione satellitare per l'informatizzazione del centro.



## Ingegneria Senza Frontiere NAPOLI

- **NOSY-BE** Ad Agosto sono stati inviati i primi tecnici per uno studio di massima del territorio e delle tematiche riguardanti Acqua, Rifiuti ed Energia in collaborazione con l'associazione "bambini di manina" presente sul territorio da diversi anni.

### Progetti locali

- **ROM** Il Comune ha chiesto un progetto di massima per la riabilitazione del campo rom in termini di computo metrico, mappatura, impianto idrico e smaltimento rifiuti.
- **NAPOLI WEBGIS** progetto in fase di start-up sulla mappatura del disagio sociale nella città di Napoli in partenariato con le istituzioni locali.
- **SCUOLA** Progetto con i licei sulle tematiche della cooperazione e dello sviluppo ed è stato costruito un format proponibile in una realtà scolastica.



## 2.0 MACROAMBIENTE

### 2.1 ANALISI DEL CONTESTO

L'Agenzia Internazionale dell'Energia prevede l'aumento dei consumi energetici del 50% nei prossimi 20 anni. Tale aumento sarà determinato per la maggior parte dai paesi in via di sviluppo, dove la crescita demografica è più veloce, ma dove ancora oggi centinaia di milioni di famiglie non hanno elettricità. Sta in queste cifre la complessità della sfida energetica, una sfida globale che richiede risposte strategiche soprattutto a livello locale, non soltanto per garantire lo sviluppo di economie emergenti, ma anche per salvaguardare l'equilibrio dell'intero pianeta. **E' in questo contesto che deve essere vista la possibilità di uno sfruttamento più ampio possibile dell'energia eolica, non solo con la costruzione di wind farms collegate alla rete ma anche mediante la realizzazione di impianti eolici di piccola taglia.** I benefici connessi al microeolico, infatti, sono molteplici: limitato impatto sull'ambiente, economicamente conveniente, bassi costi di manutenzione, tecnologia semplice, matura ed affidabile, capace di decentrare la produzione elettrica e portarla alla portata di tutti. Gli impianti eolici di piccola taglia associati ad altre fonti rinnovabili, rappresentano infine una soluzione vincente per l'alimentazione elettrica in molti paesi in via di sviluppo ed inoltre per tutte le comunità isolate, in alternativa all'estensione della rete elettrica, o per le reti locali delle isole minori.

#### 2.1.1 IL PREZZO DELLE FONTI FOSSILI

**"Il riconoscimento dovuto alle future generazioni come soggetto morale non ha, per molti aspetti, un fondamento diverso da quello che obbliga a preservare l'ambiente qui, perché potrebbe risentirne anche chi è molto lontano da qui.** Si deve presumere che l'interesse di chi è lontano nel tempo non sia diverso dall'interesse di chi è lontano nello spazio. Chi è insensibile verso la condizione dei lontani discendenti è sospetto di esserlo anche verso quello di contemporanei viventi in regione remote. Se quest'ultima forma di insensibilità è moralmente riprovevole, lo è anche l'altra" Tratto da "Il valore ambiente", di Mario Manfredi, docente di Filosofia morale nella facoltà di Lettere e Filosofia dell'Università di Bari. L'esigenza di una maggiore attenzione per i problemi ambientali delle generazioni future, oltre a scaturire da considerazione di ordine morale, nasce da osservazioni scientifiche che sempre più mettono in risalto i grandi danni che il rilascio di gas serra dovuti all'utilizzo di fonti fossili di energia comporta per l'umanità. Cercare quindi di ridurre le emissioni inquinanti, oltre che a rappresentare un dovere etico, rappresenta, a medio e lungo termine, una scelta oculata anche da un punto di vista economico. Il grafico 1 che segue rappresenta la variazione di temperatura e di concentrazione di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera negli ultimi 20.000 anni. Due informazioni emergono chiaramente:

- 1) Esiste una forte correlazione tra la concentrazione di CO<sub>2</sub> e la temperatura media della Terra.
- 2) In un intervallo di tempo geologicamente brevissimo (a partire dalla seconda metà dell'800' fino ad oggi), si è avuto un incremento notevole delle concentrazioni di CO<sub>2</sub>

Ingegneria Senza Frontiere NAPOLI

nell'atmosfera. Non ci sarebbe quindi da meravigliarsi se, in seguito alle immissioni massicce di gas serra in atmosfera ci si ritrovasse di fronte ad un aumento delle temperature medie con variazioni climatiche i cui effetti sono potenzialmente catastrofici.

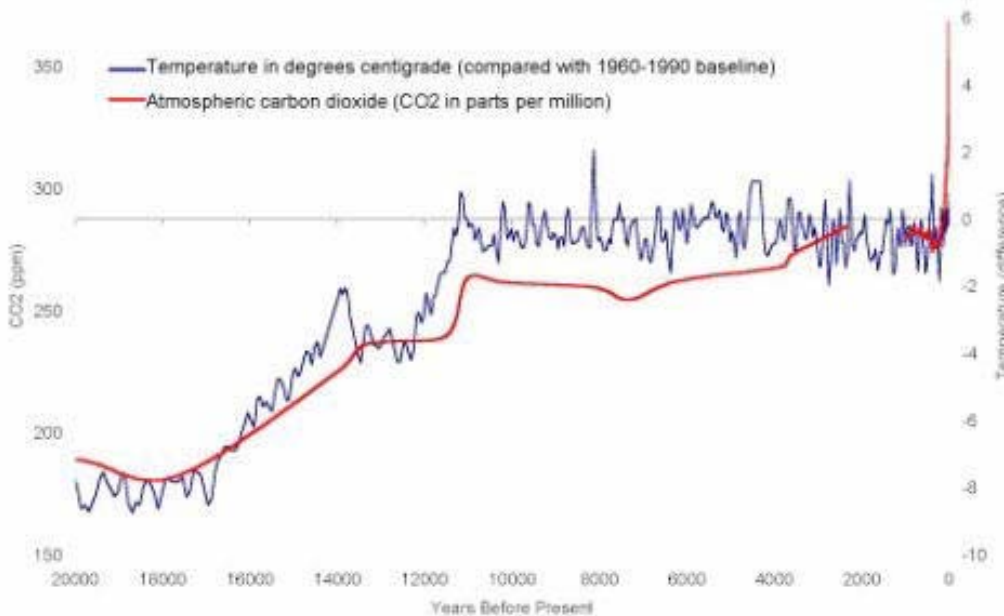


figura 1 – Andamento Temperatura e CO2 nell'atmosfera

A conferma di tale deduzione sono riportate nel grafico 2 le previsioni dell'aumento della temperatura media terrestre nel 2040 ottenute con otto diversi modelli generali di circolazione e sotto l'ipotesi che non vengano attuate misure di controllo delle emissioni (scenario ``business as usual''). I quadratini indicano le previsioni originali dei modelli, mentre i rombi indicano la migliore stima dopo che è stata attuata una ricalibrazione dei modelli (Allen et al., 2000). Le barre indicano gli intervalli di confidenza al 90%.

Si vede che mediamente l'incremento della temperatura entro il 2040 si aggira intorno agli 1,5 °C.

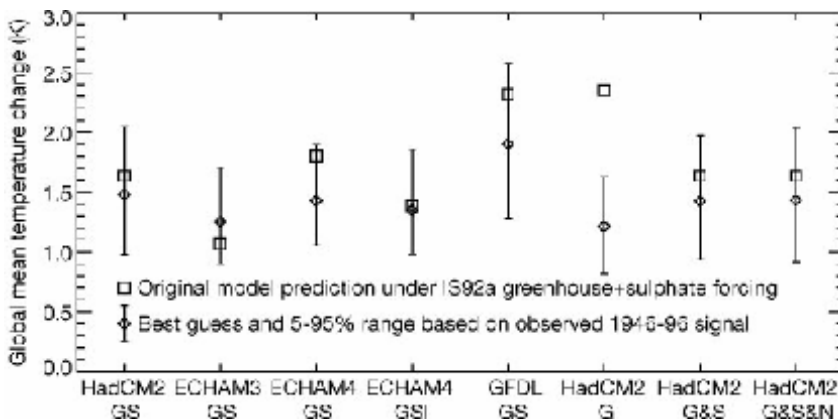


figura 2 – Previsioni aumento Temperatura media terrestre





Secondo l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) delle Nazioni Unite, una concentrazione di CO<sub>2</sub> quale quella attuale non ha precedenti negli ultimi 420.000 anni. Quasi il 75% dell'incremento della concentrazione di CO<sub>2</sub> verificatosi negli ultimi vent'anni è da addebitare all'utilizzo di combustibili fossili, mentre il restante 25% è il risultato della deforestazione e dei cambiamenti di uso del territorio. Una metà di questo incremento viene assorbita dalla terra e dai mari, ma l'altra metà finisce nell'atmosfera. Gli scienziati dell'IPCC affermano che nel corso del Novecento la temperatura media globale è aumentata di circa 0,5 °C e, secondo modelli da loro elaborati, è possibile che la temperatura media globale del pianeta aumenti 1,2-4,9 °C fra oggi e il 2100. Tutto ciò potrebbe avere effetti devastanti sull'ecosistema terrestre, incluso lo scioglimento dei ghiacciai, l'aumento del livello degli oceani e delle precipitazioni, l'aumento dei fenomeni meteorologici estremi, la perdita di habitat naturali, l'infiltrazione di acque salmastre nelle falde acquifere. Il rapporto dell'IPCC mette anche in guardia contro gli effetti negativi sugli insediamenti umani come la diminuzione della resa dei terreni agricoli, la diffusione di malattie tropicali in aree più settentrionali e soprattutto la perdita di una considerevole superficie di terre emerse: si calcola che se il livello del mare aumentasse di più di 100 metri nei prossimi mille anni, si perderebbe una quantità di massa terrestre corrispondente a quella degli Stati Uniti. Agli effetti a scala globale derivanti dalle emissioni di gas serra, vanno aggiunti gli effetti locali di inquinamento che l'uso di combustibili fossili comporta: emissioni di polveri sottili, ossidi di azoto, anidride solforosa (per citare le principali), che provocano gravi danni alla salute umana e all'ambiente. **I progressi tecnologici oggi consentono la notevole riduzione di queste sostanze, ma a costi spesso elevati, proibitivi per i paesi in via di sviluppo, che quindi spesso trascurano in nome della crescita economica i problemi riguardanti le immissioni in atmosfera di sostanze inquinanti.**

### 2.1.2 CRISI ENERGETICA

A considerazioni di carattere ambientale ne vanno aggiunte altre di carattere geopolitico. L'International Energy Agency dell'OCSE stima che, da oggi al 2020, la domanda globale di energia possa crescere fin del 57%, e che la produzione globale di petrolio possa raggiungere il picco nella seconda decade del XXI secolo. A quel punto i prezzi inizieranno a salire ulteriormente in quanto a quel punto il petrolio estratto eguaglierà quello ancora presente nei giacimenti e si cercherà di accaparrarsi quello rimanente. Ciò porterà ad accentuare inevitabilmente le tensioni, già oggi altissime, nell'area che possiederà le più grandi riserve petrolifere, vale a dire il Medio Oriente. Dei quaranta giacimenti di petrolio più grandi esistenti sulla terra, 26 si trovano nell'area del Golfo Persico. Non sarebbe inverosimile il ripetersi di una situazione analoga a quella del 1973, quando i paesi arabi produttori di petrolio riuniti nell'OPEC decisero un aumento del 70% del prezzo del greggio in seguito alla quarta guerra arabo-israeliana, dando vita ad una crisi energetica che colpì in particolare i paesi più dipendenti dalle importazioni petrolifere, tra cui l'Italia. Liberarsi dalla dipendenza del petrolio è quindi anche una scelta strategica, per rendere l'economia meno vulnerabile all'aumento dei suoi prezzi e per contribuire a mantenere la pace tra i popoli. Un'alternativa potrebbe essere il carbone, che ha una disponibilità molto maggiore e una diffusione più omogenea sulla superficie terrestre. Esso però, è la peggior fonte energetica disponibile emettendo il più grande quantitativo di CO<sub>2</sub> per kWh ottenuto di tutte le fonti fossili. L'estrazione, il trasporto e la riduzione in polvere del carbone determinano grandi immissioni di particelle sottili nell'atmosfera. In esso



sono presenti anche considerevoli aliquote di zolfo, che con la combustione danno luogo alla formazione di anidride solforosa, che contribuisce alla formazione delle piogge acide. La combustione del carbone lascia inoltre ceneri che creano problemi ulteriori di smaltimento. Per limitare le emissioni ci sarebbe l'opzione del nucleare, ma anche esso comporta una serie di importanti problemi. Per rendere sicuri in maniera accettabile gli impianti occorrono investimenti massicci che rendono però di fatto l'energia prodotta in questo modo non meno costosa di quella ricavabile dai combustibili fossili. Negli Stati Uniti in seguito all'incidente di Three Miles Island nel 1978 non sono state costruite più centrali atomiche. Gli elevati costi per le centrali non sono inoltre sostenibili per i paesi più poveri. Vi è poi il problema dello smaltimento delle scorie radioattive, che è tuttora di non facile soluzione. La dislocazione di una centrale e di un sito per lo stoccaggio dei rifiuti radioattivi, infine, trova spesso delle fortissime resistenze da parte delle popolazioni locali. Di fronte a questa serie di problemi è avvertita sempre più la necessità di ricorrere a FONTI RINNOVABILI di energia. **ISF-Napoli Ambiente & Sviluppo focalizza la sua attenzione sui possibili sviluppi dello sfruttamento dell'energia del vento, in particolare attraverso turbine di taglia inferiore ai 20KW, che rientrano nel campo del MICROEOLICO.**

## 2.2 NUOVE TECNOLOGIE

Negli ultimi decenni nelle tecnologie per la produzione di energia da fonte rinnovabile non sono state investite cifre considerevoli. Trattasi di una frazione ridicola in confronto con gli investimenti nel nucleare o nelle tecnologie per la produzione di energia da fonte fossile. L'inversione di questa tendenza promette nuove tecnologie non solo più efficienti/efficaci ma soprattutto più economiche. In particolare, per quanto riguarda l'eolico, la ricerca si sta concentrando sui questi aspetti:

- individuazione dettagliata dei siti adatti all'installazione di turbine eoliche, attraverso rilevazioni anemometriche e redazione di carte della ventosità combinate all'irradiazione dei siti;
- miglioramenti tecnologici tesi ad aumentare l'efficienza delle macchine e degli impianti, in funzione dei differenti regimi di vento e della particolarità dell'applicazione;
- studio di accorgimenti per ridurre il costo degli impianti non trascurandone l'impatto sia acustico che visivo;
- ricerca di materiali più resistenti all'usura e alle sollecitazioni massime.

## 2.3 PRODUZIONE ENERGETICA DECENTRALIZZATA

L'espressione "**generazione distribuita**" designa, in genere, piccoli impianti di produzione di energia elettrica, isolati o interconnessi, collocati presso l'utente finale (aziende agricole, fabbriche, uffici pubblici, quartieri, residenze private) o nelle immediate vicinanze. Nelle zone in cui le condizioni ambientali sono favorevoli, tali impianti di produzione possono essere rappresentati da impianti eolici di piccola taglia.



I vantaggi che la diffusione della generazione distribuita di energia comporta sono molteplici:

- **Distribuzione della risorsa a scapito dei monopoli;**
- Possibilità di sfruttare a vasta scala le fonti rinnovabili (tra cui l'energia eolica), comportando una **riduzione delle emissioni inquinanti**;
- minori perdite per trasmissione e distribuzione (sono state del 9,5% di tutta la generazione mondiale di energia nel 1999);
- maggiore power quality (minori fluttuazioni, minori interruzioni): vantaggio importantissimo per internet, dove i nodi di trasmissione richiedono grandi affidabilità, pena rilevanti danni economici;
- minore vulnerabilità del sistema elettrico, cioè minore probabilità di black-out;
- miglior soluzioni per l'elettrificazione delle aree remote;
- minor dipendenza dalle importazioni di fonti fossili.

**Nei paesi industrializzati , pur presentando i vantaggi sopra elencati, la generazione distribuita dovrà lottare contro la preesistente generazione concentrata. Nei paesi in via di sviluppo invece, in cui vi sono una grande quantità di piccoli villaggi sparsi su immensi territori, l'affermazione di un sistema energetico basato su grandi centrali e fitte reti di distribuzione è economicamente impensabile.** Inoltre questi paesi non possono nemmeno permettersi di comprare il petrolio o il gas naturale che occorre. Circa un terzo della popolazione terrestre non ha accesso all'elettricità o ad altre forme di energia. La mancanza di accesso all'energia, soprattutto quella elettrica, è un fattore chiave del perpetuarsi della povertà nel mondo. Una generazione distribuita fatta di "isole di produzione energetica" autosufficienti permetterebbe a quattro miliardi di persone di elevarsi al di sopra della soglia di povertà grazie alle attività produttive che la disponibilità di energia consentirebbe di sviluppare.



## 2.4 INDOTTO LOCALE

Si prevede che l'iniziativa impatti positivamente sul locale. Sulle componenti economico e sociale del territorio in cui viene effettuata la ricerca in quanto è proposto un **modo diverso di progettare, tecnologie appropriate e democraticità nel processo decisionale**, tutte cose di cui l'Università Italiana ha bisogno. Nei paesi in via di sviluppo poi, se l'applicazione porterà a:

- **Formazione di tecnici locali capaci di replicare la tecnologia senza il bisogno di altro che non le materie prime essenziali alla costruzione.**
- Incremento occupazionale diretto legato ai posti di lavoro generati dalle iniziative in cantiere
- Un forte effetto positivo indiretto
  - Nel sistema sanitario e scolastico;
  - Nel settore manifatturiero;
  - Nel settore agricolo;

A titolo esemplificativo, facciamo il **caso del sistema sanitario rurale**. L'installazione di un impianto ibrido a servizio di una piccola clinica locale garantisce delle diagnosi più appropriate grazie alla luce artificiale e all'uso di microscopi elettronici e potrebbe permettere di sfruttare le potenzialità della telemedicina. Nelle cliniche locali poi sono conservati i vaccini che devono essere tenuti a basse temperature ed in caso di malfunzionamento della catena di refrigerazione l'efficacia del vaccino viene perduta senza che dottori ed infermieri se ne accorgano. Le unità di refrigerazione più diffuse nel terzo mondo sono quelle a cherosene, ma da una ricerca condotta dall'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità) in tre Paesi africani è risultato che nel 35% dei casi questi dispositivi mantenevano i vaccini a temperature superiori a quelle dovute. Si è anche riscontrato che i refrigeratori ad energia fotovoltaica erano più affidabili, mantenendo in media il vaccino alla temperatura richiesta per periodi di tempo ben superiori rispetto ai refrigeratori a cherosene.

### 2.4.1 IMPATTO SUL TERRITORIO LOCALE DELLA TECNOLOGIA PROPOSTA

I vantaggi della diffusione del microeolico come fonte di energia sarebbero rilevanti in particolare nelle aree rurali dove gli ampi spazi a disposizione consentono più agevolmente l'installazione delle pale e la ventosità è mediamente più elevata. In questo modo si potrebbe dare respiro ad un'**economia eco-compatible** spesso penalizzata dalla posizione marginale degli abitati di queste zone rispetto ai principali centri produttivi, dando un contributo anche alla lotta contro lo spopolamento di queste aree, che provoca la perdita di antiche culture e tradizioni e l'abbandono del territorio che così diventa maggiormente vulnerabile ai rischi idrogeologici.



## 2.4.2 TRASFERIMENTO DI CONOSCENZE E COMPETENZE SUL TERRITORIO

Come più volte ribadito nel presente documento, nell'iniziativa è di cruciale importanza il trasferimento di know-how. L'iniziativa infatti vuole essere oltre che un investimento economico anche il **primo passo di un nuovo modo di fare economia**; esiste nei proponenti una sentita e viva convinzione di operare nel rispetto delle problematiche ambientali, sociali ed economiche del territorio.

## 2.5 POSSIBILI SVILUPPI IN ITALIA

Sulla base di obblighi internazionali (protocollo Kyoto) e varie direttive comunitarie il parlamento ha già deliberato una serie di norme molto vantaggiose per il settore della produzione di energia da fonte rinnovabile. Purtroppo causa la mancanza di vari decreti attuativi, in particolare per gli iter autorizzativi, non tutte queste norme sono già in vigore. Gli impianti micro-eolici di potenza inferiore a 20 KW, per le loro caratteristiche di adattabilità, semplicità tecnologica e costi contenuti, trovano applicazione soprattutto per l'alimentazione di utenze isolate dal punto di vista elettrico, dove non è economicamente conveniente il collegamento alla rete. Anche in Italia esistono, seppur numerose, utenze civili private o infrastrutture turistiche (agriturismi, fattorie, campeggi, rifugi, utenze domestiche isolate in montagna, al mare o su isole) non collegate alla rete. In queste situazioni si possono usare aerogeneratori di piccola taglia in combinazione con pannelli fotovoltaici e generatori diesel (sistemi ibridi), dotati di sistemi di accumulo (batterie). Altre applicazioni sono legate all'alimentazione di sistemi di telecomunicazione (ripetitori, antenne e di telefonia mobile installate a distanza dalla rete elettrica), sistemi di pompaggio e drenaggio di siti da bonificare, utenze di illuminazione pubblica distanti dalla rete elettrica (strade, viadotti, gallerie, fari, piattaforme, impianti semaforici, ecc.). Il micro-eolico può avere un discreto potenziale applicativo anche nelle aree naturali protette, che costituiscono circa il 10% del territorio nazionale (Parchi Nazionali e Regionali, Riserve Naturali Statali e Regionali, Aree marine Protette ed Aree Protette provinciali, comunali e di vario genere). L'alimentazione di utenze isolate all'interno di queste aree con piccoli impianti elettrici alimentati da fonti energetiche rinnovabili potrebbe avere un ruolo importante per la comunicazione e la formazione del pubblico sull'uso delle Fonti Energetiche Rinnovabili. Il Protocollo di intesa tra ENEL, Federparchi e il Ministero dell'Ambiente, siglato nel febbraio 2002, ha previsto che i crescenti fabbisogni energetici all'interno dei parchi, siano soddisfatti attraverso impianti di Fonti Energetiche Rinnovabili di piccola taglia. Un'altra importante area di potenziale applicazione del micro-eolico è quella delle reti locali nelle isole minori, che sono più di 40 in Italia ed alcune centinaia nell'intero Mediterraneo. Su molte di queste isole l'intensità del vento è favorevole all'installazione di macchine eoliche di piccola taglia. Si tratta tuttavia di applicazioni di una certa complessità, che richiedono nella fase preliminare un'attenta valutazione dell'insieme dell'impianto e della sua gestione. Le applicazioni del micro-eolico per l'alimentazione di utenze isolate, sono costituiti da sistemi ibridi. Si tratta di impianti che associano 2 o più sistemi di generazione, in parte convenzionali (es. Diesel) per garantire una base di continuità del servizio elettrico, e in parte da fonti rinnovabili, completati da sistemi di accumulo, di condizionamento della potenza (inverter, raddrizzatori, regolatori di carica) e di regolazione e controllo. Per sopperire alle esigenze di energia elettrica nelle aree



remote non elettrificate, in passato venivano utilizzati esclusivamente generatori diesel, che presentano una ridotta efficienza di funzionamento, alti oneri di manutenzione, breve vita dell'impianto. I sistemi ibridi consentono di sfruttare le risorse rinnovabili esistenti sul territorio e costituiscono una concreta opzione, compatibile sul piano ambientale e sociale. Attualmente si progettano sistemi ibridi dove le fonti rinnovabili e l'accumulo forniscono fino all'80-90 % di fabbisogni energetici, lasciando al diesel solo la funzione di soccorso.

### 2.5.1 ASPETTI NORMATIVI

Il 29 dicembre 2003, è stato emanato il decreto legislativo n. 387, che recepisce la direttiva 2001/77/CE (promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili) dell'Unione Europea con le seguenti finalità:

- a) promuovere un maggior contributo delle fonti energetiche rinnovabili alla produzione di elettricità nel relativo mercato italiano e comunitario;
- b) promuovere misure per il perseguimento degli obiettivi indicativi nazionali di cui all'articolo 3, comma 1;
- c) concorrere alla creazione delle basi per un futuro quadro comunitario in materia;
- d) favorire lo sviluppo di impianti di microgenerazione (D.lgt. 387 del 29 dicembre 2003 Art 2 comma e) elettrica alimentati da fonti rinnovabili, in particolare per gli impieghi agricoli e per le aree montane.

In particolare aumenta la quota minima di energia prodotta a mezzo di fonti rinnovabili (decreto Bersani) di 0,35 punti percentuali ogni anno a partire dal 2004. L'articolo 6 afferma che: "Entro sei mesi dalla data di entrata in vigore del presente decreto, l'Autorità per l'energia elettrica e il gas emana la disciplina delle condizioni tecnico-economiche del servizio di scambio sul posto dell'energia elettrica prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili con potenza nominale non superiore a 20 kW". Per ora, a distanza di quasi due anni dall'emanazione del decreto, solo per il fotovoltaico è stato consentito lo scambio di energia elettrica con la rete. Importante è stata la pubblicazione del Bando Fonti rinnovabili e Mobilità Sostenibile nei Parchi Nazionali Italiani (pubblicato su Gazzetta Ufficiale n. 156 del 5 luglio 2002). Specie nelle regioni centro-meridionali si osserva dalle carte del vento che le aree occupate dai parchi sono spesso caratterizzate da velocità medie del vento elevate e quindi da una elevata producibilità elettrica. I vincoli di carattere paesaggistico rendono però improbabile l'installazione di pale eoliche di grossa potenza e dimensioni: l'utilizzo del microeolico a larga scala permetterebbe di sfruttare la risorsa vento senza compromettere la bellezza dei luoghi, dando un contributo alla redditività di queste zone.

L'articolo 4 (requisiti oggettivi) stabilisce che: "Gli Enti gestori dei Parchi Nazionali interessati a partecipare al programma potranno presentare un progetto che preveda interventi di diffusione di fonti energetiche rinnovabili e/o interventi di mobilità sostenibile. Per gli interventi relativi



## Ingegneria Senza Frontiere NAPOLI

all'introduzione di tecnologie da fonte rinnovabile, possono essere ammessi al contributo:

1. Impianti solari termici per la produzione di acqua calda sanitaria;
2. Impianti fotovoltaici isolati (non connessi alla rete elettrica nazionale o locale);
3. Impianti di **micro-eolico** ( al massimo 20 KW)

Il micro-eolico, come tutti gli altri impianti da fonte rinnovabile di piccola taglia, è soggetto ad una distinzione in base alla soglia di potenza dei 20 kW. La L.133/99 infatti ha decretato l'assenza di imposizione fiscale per i microimpianti al di sotto dei 20 kW, in quanto non considerati officine elettriche. Importante è anche prendere in considerazione con particolare attenzione la legislazione vigente a livello regionale e provinciale. Gli Enti Locali infatti rivestono oggi un ruolo determinante in campo energetico, ed in particolare nella promozione delle fonti rinnovabili a livello locale. Nei confronti della Valutazione di impatto ambientale i micro-impianti non sono generalmente soggetti ad alcuna verifica. È però opportuno che il promotore intenzionato a realizzarli si informi presso la propria Regione per essere a conoscenza della normativa in vigore.

### **2.5.2 OBIETTIVI NAZIONALI NELLA PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE RINNOVABILE**

I dati resi noti dall'Unione Europea fissano un incremento delle emissioni di anidride carbonica dell'Italia tra il 1990 e il 2003 dell'11,6%, in controtendenza rispetto agli impegni ratificati dal nostro paese con il Protocollo di Kyoto di ridurli del 6,5%. Tra il 2002 e il 2003 l'aumento italiano è stato del 2,7 %. Le conseguenze di questa direzione di marcia si inizieranno a quantificare in termini economici già a partire da quest'anno, perché la Direttiva sull'Emission Trading è già in vigore e il nostro paese si sta già attrezzando per comprare milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> dai paesi "virtuosi" con una spesa prevedibile dell'ordine di centinaia di milioni di euro. Lo sviluppo dell'eolico svolge un ruolo fondamentale nella direzione di una riconversione energetica incentrata sulle fonte rinnovabili, sull'efficienza e sul risparmio energetico. L'Unione Europea ha stabilito che per il 2010 provenga da fonti rinnovabili il 12% di energia prodotta (oggi è al 6,6 %) e il 22% di produzione di energia elettrica (per l'Italia il 25%, oggi siamo al 19,4 %).

### **2.5.3 OPPORTUNITÀ DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA DA MICROEOLICO**

A favore delle applicazioni del micro-eolico gioca la crescente sensibilità alle problematiche ambientali connesse allo sviluppo energetico della società. Questa nuova coscienza fa sì che il singolo utente, se ben informato circa i possibili sviluppi delle fonti rinnovabili, se messo nelle condizioni di farlo, dare un contributo nel suo piccolo alla sostenibilità, adottando per le sue esigenze civili o di piccola imprenditoria (agriturismi, fattorie, rifugi, utenze domestiche isolate, seconde case, ecc.) micro-impianti da fonti rinnovabili, anziché sistemi di generazione tradizionali. In questo ambito applicativo il micro-eolico è piuttosto avanzato in termini tecnici, economici ed applicativi. Tra le fonti rinnovabili quella eolica è attualmente la più conveniente: il costo per un impianto di potenza inferiore ai 100 kW varia tra i 1000 e i 3000

euro/kWh. Le zone in cui è conveniente l'installazione di turbine eoliche dovrebbe avere una velocità media annua del vento di almeno 5-6 m/s. Considerato un costo medio dell'energia elettrica di 0,15 euro/kWh, si è visto che in circa 7 anni si recupera l'investimento effettuato. Questo senza considerare eventuali incentivi che possono esserci per l'acquisto delle turbine e l'eventualità di netmetering. Considerato che un impianto ha una vita media di 20 anni, si hanno benefici economici almeno per i restanti 13 anni.

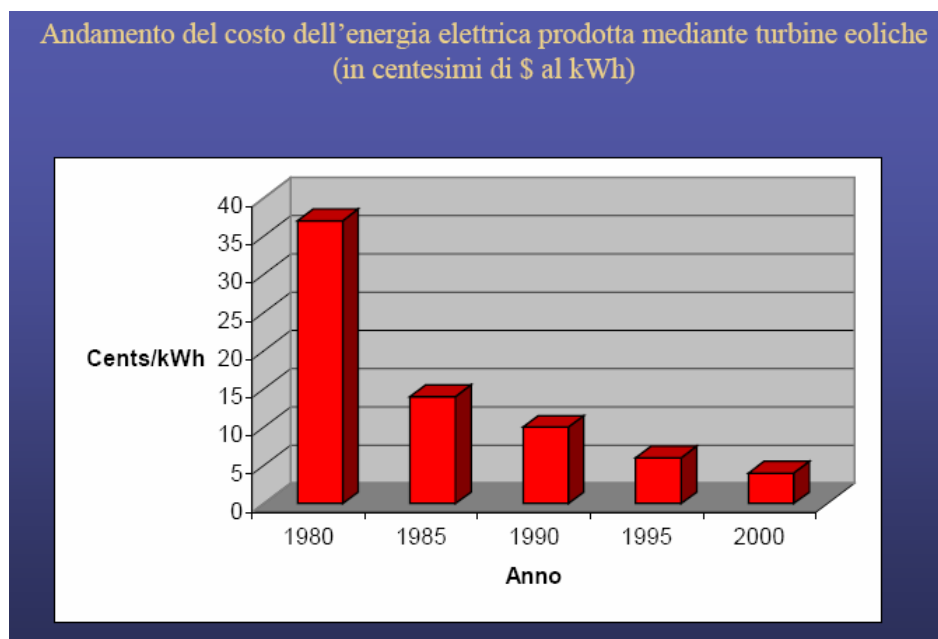


figura 3 – Andamento del costo dell'energia prodotta da eolico

#### 2.5.4 BARRIERE NELLA PRODUZIONE DI ENERGIA DA MICROEOLICO

A frenare lo sviluppo della diffusione del microeolico nel nostro Paese è in primo luogo l'impossibilità di scambiare energia con la rete attraverso il sistema di net metering, cosa invece ora possibile per il fotovoltaico, con l'istituzione del Conto Energia. Il sistema di net metering funziona mediante l'utilizzo di contatori reversibili che permettono di utilizzare la rete come serbatoio di energia prodotta in eccesso rispetto agli autoconsumi, così da andare poi a compensare i consumi prelevati dalla rete nei periodi di bisogno. I vantaggi del net metering per lo sviluppo del microeolico sono i seguenti:

- l'energia eolica è una risorsa intermittente: può accadere che momenti di produzione di energia coincidano con istanti di fabbisogno energetico nullo, come può accadere il contrario; il net metering permetterebbe all'utente di cedere al distributore locale l'elettricità prodotta allo stesso prezzo a cui si acquista;
- permette di ridurre i costi, evitando il ricorso a costosi sistemi di accumulo dell'energia
- evita all'utente di installare contatori di energia aggiuntivi





## 3.0 LA TECNOLOGIA

### 3.1 I SISTEMI IBRIDI

I sistemi ibridi sono l'associazione di due o più sistemi di generazione, in parte convenzionali, per garantire una base di continuità del servizio elettrico, e in parte da fonte rinnovabile. La tipica configurazione di un sistema ibrido è la seguente:

- una o più unità di generazione a fonte rinnovabile: eolico, fotovoltaico, idroelettrico;
- una o più unità di generazione convenzionale: diesel;
- sistema di accumulo di tipo meccanico, elettrochimico o idraulico;
- sistemi di condizionamento della potenza: inverter, raddrizzatori, regolatori di carica;
- sistema di regolazione e controllo.

Attualmente la tendenza è quella di progettare sistemi ibridi nei quali le fonti rinnovabili e l'accumulo forniscano fino all'80-90% dei fabbisogni energetici, lasciando al diesel solo la funzione di soccorso. I sistemi ibridi rappresentano attualmente una valida soluzione alle esigenze di energia elettrica in aree remote o comunque non elettrificate. Nel passato infatti venivano utilizzati esclusivamente generatori diesel, che, in modalità operativa di basso carico, mostrano ridotta efficienza nel funzionamento, alti oneri di manutenzione, breve vita dell'impianto. I sistemi ibridi consentono di ridurre le problematiche suddette e di sfruttare le risorse rinnovabili esistenti sul territorio, costituendo una concreta opzione, compatibile con l'ambiente. Applicazioni dei sistemi ibridi:

- Sistemi per utenze o comunità isolate: si tratta di sistemi fino ad un massimo di 100 kW di potenza.
- Sistemi ibridi da retrofit: si tratta di sistemi rinnovabili installati su reti locali in media tensione, fino alla potenza di qualche MW, finalizzati a ridurre le ore di funzionamento dei generatori diesel esistenti, risparmiando combustibile e riducendo le emissioni inquinanti.

**Il progetto proposto pone al centro della sua attività sistemi accoppiati completamente rinnovabili in cui si uniscono le tecnologie fotovoltaica ed eolica, ponendo maggiore attenzione sul miglioramento tecnologico delle turbine eoliche.**

### 3.2 IL FOTOVOLTAICO

La cella fotovoltaica è un generatore di corrente elettrica che si basa sull'effetto fotovoltaico. Poiché è destinata a utilizzare soprattutto la radiazione solare, è detta anche cella fotoelettrica solare o *cella solare*.

## Ingegneria Senza Frontiere NAPOLI

La cella solare è costituita essenzialmente da due sottili strati di materiali semiconduttori. I semiconduttori sono dei materiali i cui atomi hanno gli elettroni più esterni che riempiono la banda di valenza ma il gap energetico che li separa dalla banda di conduzione è relativamente basso, per cui qualche elettrone può fare questo salto ed acquistare mobilità se acquista la sufficiente energia. L'energia solare che irradia la cella provoca la mobilità di alcuni elettroni che formano un eccesso di cariche negative (strato di tipo  $n$ ), le lacune lasciate si comportano come eccessi di cariche positive (strato di tipo  $p$ ).

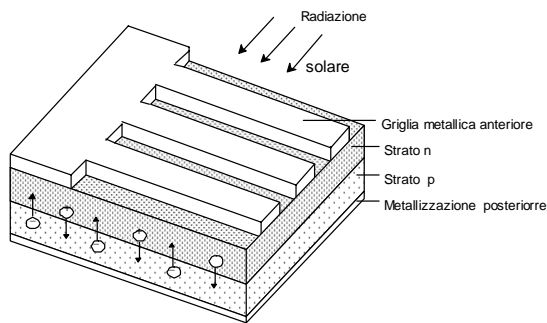


Figura 4- Sezione di cella Fotovoltaica

Accostando due strati diversi si ottiene una giunzione  $p-n$  ovvero un dispositivo capace di mantenere una separazione di cariche fin quando è colpito dai fotoni della radiazione (Fig. 2.1). Il campo elettrico così creato permette di disporre di una differenza di potenziale agli estremi della giunzione  $p-n$ , che opportunamente collegata con dispositivi metallici, permette di ottenere corrente elettrica continua.

L'effetto può essere ampliato immettendo piccole quantità di impurità nel semiconduttore, con un'operazione che

prende il nome di *drogaggio*. Va notato che la cella solare è in grado di funzionare senza alcun intervento esterno e senza alcuna connessione a reti idriche o energetiche, per cui la sua installazione è possibile quasi in qualsiasi luogo e condizione. Le celle fotovoltaiche, quando sono irradiate dal sole, convertono parzialmente l'energia solare in elettricità; la restante energia non convertita deve essere smaltita come calore nell'ambiente esterno, sia dal fronte del modulo che dal retro dello stesso, secondo la rappresentazione schematica di Fig. 2.1. Occorre notare che non tutta l'energia irradiata dal sole partecipa a questo processo, ma una piccola parte, non superiore al 10%, viene riflessa dal vetro di incapsulamento dei moduli, di cui si dice nel seguito.

### Materiali e prestazioni

L'analisi degli aspetti teorici del funzionamento delle celle solari mette in risalto quali materiali ideali al fine della massima efficienza di conversione alcuni semiconduttori composti, in particolare l'arsenurio di gallio ( $GaAs$ ) ed altri. Nonostante questo lo sviluppo tecnologico delle celle si è basato soprattutto sull'utilizzo del silicio, con cui vi è una maggiore confidenza tecnica. Le celle solari si possono classificare in base al materiale impiegato in quattro gruppi principali:

- celle a silicio monocristallino ( $m-Si$ )
- celle a silicio policristallino ( $p-Si$ )
- celle a silicio amorfo ( $a-Si$ )
- celle a policristalli composti ( $GaAs$ )

### Celle a silicio monocristallino

Il silicio è un elemento molto diffuso in natura, ma non allo stato puro; bisogna ricavarlo con processi metallurgici con i quali si ottiene una purezza del 98%. Successivamente con un processo di purificazione, si ottiene silicio con impurità dell'ordine di  $10^{-5} \div 10^{-6}$  che prende il nome di *silicio di grado solare*, meno costoso



Ingegneria Senza Frontiere NAPOLI

di quello impiegato nell'industria elettronica. Il processo costruttivo delle celle solari è impegnativo e costoso; con esso si ottengono celle di produzione commerciale aventi rendimenti dell'ordine del 13%. Le celle hanno spessori di 0.35 mm.

### **Celle a silicio policristallino**

Il silicio policristallino si ottiene in una fase intermedia del processo di produzione di quello monocristallino; con l'eliminazione di una fase di lavorazione il prodotto finale risulta un po' meno costoso. Il rendimento delle celle policristalline di produzione commerciale è dell'ordine dell' 11%.

### **Celle a silicio amorfo**

Queste celle sono dette anche celle a film sottile e sono fabbricate decomponendo un composto del silicio sotto vuoto, mediante scarica a radiofrequenza o altro metodo, in maniera da far precipitare sul substrato atomi di silicio. Questa tecnica è relativamente recente e consente di ottenere strati dell'ordine di  $0,5\div 1 \mu\text{m}$  contro i  $200 \mu\text{m}$  attivi del silicio monocristallino; si ottengono pertanto risparmi di materia prima e nel processo di produzione. Punti deboli delle celle in silicio amorfo è il basso rendimento, che non supera il 7% e decresce nel tempo. Il silicio amorfo ha anche il vantaggio di essere depositabile su qualsiasi supporto metallico, sintetico o vetroso, sia piano che curvo, con elevata elasticità applicativa nell'edilizia.

### **Celle a policristalli compositi**

L'arsenurio di gallio è tra i semiconduttori compositi quello più utilizzato in quanto ha il rendimento più alto. Queste celle sono del tipo a film sottile; i costi di produzione risultano essere talmente alti che pur disponendo di efficienza di conversione dell'ordine del  $20\div 25\%$ , risultano non competitive con le celle al silicio. Pertanto, tranne sviluppi nei processi produttivi che permetteranno abbassamenti dei costi, il loro impiego risulta limitato al caso in cui la necessità di efficienza prevale sui costi, che non è il caso dell'edilizia.

## **Moduli fotovoltaici**

L'unità elementare del generatore fotovoltaico è la cella; ogni cella in silicio cristallino è in grado di fornire in uscita una potenza elettrica dell'ordine di  $1\div 1,5 \text{ W}$ , con una tensione di  $500\div 600 \text{ mV}$ . Il modulo fotovoltaico è costituito da un insieme di celle fotovoltaiche, connesse elettricamente e sigillate meccanicamente dal costruttore in un'unica struttura protetta dagli agenti atmosferici detto pannello; vi sono anche dispositivi con concentratore ottico, ma questi non trovano applicazione nell'edilizia.

Attualmente sono disponibili sul mercato due tipi di pannelli fotovoltaici :

- pannelli con moduli di celle assemblate (m-Si, p-Si);
- pannelli con celle integrate (a-Si).

I primi sono ottenuti dall'assemblaggio delle celle fotovoltaiche opportunamente collegate che vengono prodotte separatamente con diverse tecnologie e materiali (ad esempio silicio monocristallino o silicio policristallino).



I secondi sono ottenuti tramite dei processi nei quali il materiale attivo delle celle (ad esempio silicio amorfo) viene depositato in film sottile direttamente su un supporto sul quale vengono ricavate e connesse le unità elementari che costituiscono le celle. In ogni caso l'insieme delle celle che costituiscono il modulo richiede un incapsulamento, ossia un processo atto a fornire non solo una protezione fisica, ma anche ad isolare le celle elettricamente ed a salvaguardarle dall'azione degli agenti chimici ed atmosferici esterni. L'incapsulamento, oltre a garantire la rigidità della struttura, deve essere resistente alle radiazioni ultraviolette, tollerare sbalzi di temperatura e capace di dissipare l'energia termica che risulta dalla radiazione solare non convertita in elettricità. Le tecniche di incapsulamento sono diverse: lo strato frontale prevede sempre l'utilizzo del vetro, possibilmente temprato; per lo strato posteriore si va dall'alluminio anodizzato, all'acciaio porcellanato, al vetro ed ai materiali compositi. La sistemazione delle celle tra i supporti avviene per laminazione a caldo, ovvero inglobandole in un polimero EVA (Etilene Vinil Acetato) fuso e poi raffreddato (Fig. 2.2). Il sandwich così ottenuto può essere poi racchiuso in una cornice di alluminio o di acciaio destinata a sostenere anche i morsetti del modulo. La cornice, oltre ad assicurare una protezione meccanica del laminato, permette anche il fissaggio sulle strutture di sostegno.

### **3.2.1 UTILIZZO DEL FOTOVOLTAICO NEI PVS**

Si iniziò a discutere di fotovoltaico per applicazioni cooperative negli anni '70. La quasi totalità dei progetti realizzati in quell'epoca erano di carattere dimostrativo e avevano lo scopo di sperimentare la tecnologia per il pompaggio dell'acqua e l'elettrificazione di edifici di uso comune: cliniche rurali, piccoli negozi, edifici comunali. Gran parte di questi progetti non ebbero esito positivo a causa della mancanza di formazione di tecnici locali e un'informazione insufficiente per gli utilizzatori finali. Ciò fece capire come per garantire il successo di un progetto fosse indispensabile coinvolgere le popolazioni locali nella manutenzione degli impianti e prevedere una loro partecipazione anche minima ai costi di operatività, in maniera tale da aumentare il senso di proprietà e responsabilità. Negli anni '80 nacque un nuovo approccio grazie alla diminuzione dei costi della tecnologia e al lavoro di organizzazioni non governative che, per prima cosa, cercavano di rispondere direttamente ai bisogni delle famiglie. I progetti includevano la realizzazione di infrastrutture locali per l'installazione degli impianti; programmi di informazione per gli utilizzatori finali; creazione di crediti rurali; formazione di imprenditori per la nascita di micro-imprese. A partire dagli anni '90 avvenne il grosso salto di qualità: vennero lanciate molteplici iniziative su grande scala da cui presero anche avvio dei veri e propri mercati fotovoltaici locali, nati dalla cooperazione fra ONG del mondo industrializzato, ONG locali e, talvolta, governi nazionali.

### 3.2.3 INDAGINE DI MERCATO

Al fine di poter scegliere partner e prodotti appropriati è stata eseguita un'indagine sul mercato italiano delle componenti dei sistemi ibridi in esame. (allegato 1 e 2)

## 3.3 IL MICROEOLICO

Le turbine eoliche, soprattutto quelle di piccola taglia, spesso creano confusione fra i non addetti ai lavori. A differenza dei pannelli fotovoltaici che normalmente si somigliano, i piccoli aerogeneratori presentano un'incredibile varietà di forme e



figura 5 - piccola turbina eolica

misure. Nel suo evolversi la tecnologia ha assunto una configurazione comune tale che, sebbene possano sembrare differenti nell'aspetto, moltissime turbine oggi sono piuttosto simili. Allo stato attuale, le differenze, sono molto più sottili, più di quelle che ci sono tra un pannello fotovoltaico ed un altro. Non esiste una classificazione convenzionale che definisca il microeolico; nel presente progetto si farà riferimento ad una potenza installata inferiore a 20kW.

### Configurazioni

Le turbine eoliche sono state progettate, nel passato, con varie configurazioni; allo stato attuale praticamente la maggior parte dei generatori sono ad asse orizzontale. Altri invece, e ben pochi, utilizzano una configurazione ad asse verticale (windside ropatec etc.). Esistono diverse configurazioni di turbine eoliche: monopala, bipala, tripala, multipala. All'aumentare del numero

di pale diminuisce la velocità di rotazione, aumenta il rendimento e cresce il prezzo. Escludendo il monopala e il multipala che hanno applicazioni particolari, il mercato si è concentrato sul bipala e tripala, orientandosi prevalentemente su quest'ultima configurazione in quanto caratterizzata da coppia motrice più uniforme (e quindi di durata maggiore), energia prodotta leggermente superiore (cioè rendimento maggiore in linea di principio), nonché, a detta di molti, minore disturbo visivo, in virtù di una configurazione più simmetrica e di una minore velocità di rotazione, più riposante per gli occhi di chi la osserva.

### Materiale di composizione delle pale

La maggior parte delle *turbine minieoliche* utilizza pale realizzate in materiale composito: poliestere di vetro rinforzato, con minor frequenza fibre di carbonio, e raramente legno. È stato abbandonato l'utilizzo di alluminio a causa della sua propensione alla deformazione sotto sforzo.



### **Orientamento**

Le dimensioni ridotte delle turbine minieoliche non consentono l'alloggio di motori di imbardata o altre componenti metalliche di cui sono dotate le turbine di taglia media: quasi tutte le miniturbine montano timoni direzionali per orientare il rotore in direzione del vento.

### **Robustezza**

Per avere un buon rendimento le turbine devono essere posizionate in luoghi sottoposti a venti consistenti: per le macchine minieoliche, date le loro ridotte dimensioni, diventano fondamentali le caratteristiche di robustezza. L'esperienza porta a dire che vale la *scuola del metallo pesante*: gli aerogeneratori più pesanti hanno dato prova di maggior robustezza ed affidabilità rispetto a quelli più leggeri. Il peso di una turbina minieolica rapportata all'area spazzata dal suo rotore, la cosiddetta massa specifica, misurabile in kg/mq, quindi un buon indicatore di scelta tra macchine alternative. Normalmente ad una massa specifica più alta corrisponde un prezzo più elevato.

### **Controllo di potenza**

Tutte le turbine, generalmente, hanno uno strumento per il controllo del rotore in condizioni di regime di vento forte. Il controllo della sovravelocità è una delle caratteristiche che differenzia i diversi tipi di turbine. La maggior parte delle micro e miniturbine, si ripiega su una cerniera in modo che il rotore ruoti verso il timone direzionale. Alcune macchine hanno il rotore che ruota verticalmente (whisper500 , windseeker) altre orizzontalmente (Bergey, Marec etc.). Per porre il rotore in posizione passiva in condizioni di regime di vento forte , l'asse del rotore deve essere disallineato rispetto all'asse di rotazione della pala. L'asse della torre è detto asse d'imbardata per i modelli con il rotore ad asse orizzontale. In regime di vento forte, la spinta sul rotore supera le forze che mantengono il rotore nel flusso di vento, e fa inclinare il rotore verso il timone direzionale. La velocità del vento a cui avviene il disallineamento (o "stacco") e la maniera in cui si verifica, dipende dalla cerniera posta tra il timone direzionale e la navicella, o corpo della turbina, la cui progettazione è molto complessa. Progettare il cardine è un'operazione molto delicata nel caso di disallineamento orizzontale. Spesso c'è un meccanismo – una molla od un ammortizzatore – che smorza la velocità alla quale il rotore ritorna a produrre a pieno regime.

### **Generatori**

La maggior parte delle turbine eoliche impiega alternatori a magneti permanenti: si tratta della configurazione più semplice e robusta. Per le turbine ad uso domestico si trovano le seguenti configurazioni di alternatore: magneti permanenti, alternatore convenzionale a campo avvolto, generatore ad induzione. Una notevole caratteristica di alcuni alternatori a magneti permanenti adoperati da piccole case costruttrici di aerogeneratori, come la Bergey sta nella loro progettazione: i magneti si attaccano ad un oggetto, denominato "magnete cilindrico", che ruota fuori dallo statore, o parte fissa del generatore. In tale configurazione le pale possono essere fissate direttamente al cilindro, cosa che spesso avviene. C'è un altro vantaggio da considerare: la forza centrifuga spinge i magneti contro la parete del cilindro. Per contro, i magneti fissati all'albero di trasmissione di un'alternatore convenzionale vengono spinti dalla forza centrifuga generata dall'albero girevole. A causa delle elevate velocità di rotazione che si raggiungono negli aerogeneratori di piccola taglia,

specialmente quando la macchina è libera ovvero non collegata ad un carico, spesso i progettisti prestano attenzione al fissaggio dei magneti negli alternatori di turbine a trasmissione diretta. Molti alternatori per macchine eoliche generano energia elettrica in corrente alternata trifasica in modo da sfruttare al meglio lo spazio interno dell'involucro del generatore. Alcuni modelli di carica batterie, rettificano la corrente alternata in corrente continua direttamente nel generatore; altri modelli la rettificano in un sistema di controllo che può anche essere distante dal generatore. L'utilizzazione dei magneti permanenti dà meno problemi per le piccole turbine eoliche in condizioni di regime di vento debole quando il rotore è fermo: gli alternatori a magneti permanenti presentano l'inconveniente della coppia resistente in posizione ferma macchina (l'albero del rotore ha delle posizioni di equilibrio che corrispondono ai magneti che si allineano con le bobine dello statore creando così una resistenza al movimento tra magneti e bobine). Ma si può ridurre tale coppia rendendo oblique le cave statoriche (Hugh Piggott).

### Modalità di posa e scelta localizzativa

La localizzazione della turbina dovrà essere valutata facendo un bilancio tra problematiche contrastanti. Da una parte la vicinanza all'utenza può essere penalizzante per la funzionalità della macchina (interferenza al vento dovuta alla prossimità di edifici) oltre che per l'impatto legato all'inevitabile rumore. D'altra parte la lontananza dall'utenza aumenta i costi di cablaggio ed interrimento delle linee elettriche oltre che incrementare la dispersione di energia. Occorre trovare un giusto accordo tra le due esigenze tenendo anche conto dell'importanza di un posizionamento della macchina in sicurezza, in un luogo cioè dove, anche nel caso di cedimento, i danni siano limitati. Esistono casi di aerogeneratori posizionati sui tetti delle abitazioni. Si tratta di una modalità piuttosto controversa: da una parte il montaggio potrebbe risultare semplice, dall'altra esistono problemi di vibrazioni trasmesse dalla turbina alle strutture su cui viene montata, e di turbolenza che si viene a creare intorno ai tetti, che è causa di riduzione della potenza generata. L'installazione più comune rimane la torre, di tipo a traliccio, tubolare o ad aste strallate.

### 3.3.1 IL MICROEOLICO AUTOPRODOTTO E A BASSO COSTO



figura 6 - turbina  
Hugh Piggott

Una possibilità innovativa nel campo del mini-eolico è rappresentata dall'auto produzione di turbine con materiali a basso costo. Sfruttando tali materiali è possibile costruire, avendo le necessarie competenze e buona volontà, turbine che abbiano prestazioni accettabili a costi molto competitivi. Esistono vari manuali che aiutano nella realizzazione di tali turbine, tra cui i più diffusi sono quelli di Hugh Piggott, che è considerato il massimo esperto mondiale per questo tipo di applicazione. Hugh Piggott è un'Ingegnere scozzese che vanta un'esperienza ventennale nella costruzione di turbine e nella diffusione didattica delle tecniche di realizzazione di tali impianti. Nelle sue pubblicazioni, egli illustra in maniera chiara ed essenziale come disegnare il profilo delle pale, come costruire un generatore, come realizzare i meccanismi di controllo di allineamento del rotore alla direzione del vento ed infine come garantire la stabilità della torre che sostiene il gruppo rotore-generatore. I materiali utilizzati sono spesso componenti meccanici riciclati da altre macchine in disuso che vengono in tal modo recuperati senza alcun costo, riducendo a



## Ingegneria Senza Frontiere NAPOLI

Il minimo i costi dell'impianto eolico. I vantaggi di tale tecnologia sono particolarmente evidenti nei paesi in via di sviluppo che non hanno la possibilità di importare costose macchine dai paesi industrializzati, ma che per contro hanno disponibilità di manodopera da impegnare nell'assemblaggio dei componenti necessari. Le turbine così prodotte presentano inoltre, l'opportunità di essere costruite adattandosi alle condizioni anemometriche del luogo al fine di massimizzare le prestazioni. Il progetto si propone, in un primo momento, di realizzare un turbina di questo tipo, tentando di mettere a frutto le passate esperienze e apportando, ove possibile, i dovuti miglioramenti sia nel processo produttivo che nella progettazione del prodotto. Inoltre, uno degli obiettivi di questo progetto è quello di trasferire sulle turbine auto-prodotte le conoscenze acquisite dall'analisi e lo studio di quelle realizzate in scala industriale. Per favorire la diffusione di questi impianti decentralizzati per la produzione di energia nei paesi in via di sviluppo, è fondamentale il trasferimento di quel know-how acquisito in tale studio alle popolazioni locali, organizzando corsi di formazione in loco, che le rendano capaci di costruire un impianto di questo tipo con i materiali che hanno a disposizione, nonché di acquisire le conoscenze necessarie alla gestione e manutenzione dell'impianto stesso. Questa tipologia di turbine è presa come fulcro della ricerca in quanto vi sono buone possibilità di migliorie progettuali e di creare una tecnologia ad elevatissimo valore aggiunto.



Figura 7 - Bilanciamento di una pala costruita in legno ([www.blueenergy.org](http://www.blueenergy.org))



### 3.2.2 STORIA DELLA TECNOLOGIA

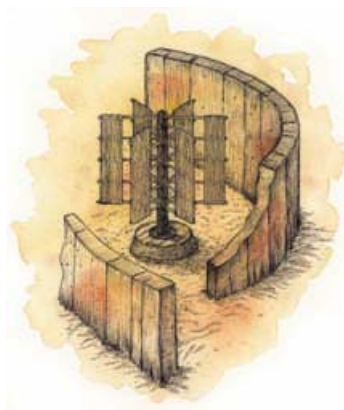


Figura 8 - Mulino Persiano

Come noto, l'utilizzo dell'energia eolica nella sua forma attuale rappresenta il perfezionamento di una tecnologia di produzione energetica già impiegata dall'uomo nel corso di molti secoli. L'energia del vento è infatti stata sfruttata dall'uomo sin dall'antichità sia per la propulsione a vela, sia per la produzione di energia meccanica attraverso i primi rudimentali mulini a vento che azionavano macine e sistemi per il sollevamento dell'acqua. L'origine delle prime ruote eoliche non è stata finora stabilita con certezza. Alcuni storici sostengono di avere individuato i resti di quelli che 3000 anni orsono furono i primi mulini a vento in Egitto, nei pressi

di Alessandria. Tuttavia, non esistono prove certe che effettivamente gli Egiziani, così come i Fenici, i Greci ed i Romani conoscessero e realizzassero mulini a vento. Le

prime testimonianze certe dell'esistenza dei mulini a vento risalgono al 644 DC e si riferiscono al Seistan, nell'antica Persia, in una zona che è situata al confine fra gli attuali Iraq e Iran. In alcuni scritti del tempo si fa infatti riferimento ad un artigiano in grado di costruire mulini azionati dal vento. A partire dal 950 DC si ritrovano poi altre testimonianze in merito all'esistenza di tali mulini a vento, unitamente alle prime descrizioni schematiche. I mulini a vento persiani erano costituiti da un asse verticale



Figura 9 - WindMill

sul quale venivano montati radialmente alcuni bracci di sostegno a rudimentali "pale" realizzate con delle canne. Il vento investiva solamente la metà della sezione verticale del mulino, essendo l'altra metà schermata da una apposita muratura. Il movimento dell'asse consentiva di azionare delle macine per cereali. Peraltro alcuni di questi mulini sono stati mantenuti in uso fino ai giorni nostri in alcune zone isolate dell'Afganistan. In Europa, i mulini a vento sono giunti al tempo delle Crociate, intorno al 1100, soprattutto nei paesi del Nord Europa. In Europa il mulino a vento iniziò la sua evoluzione e il suo perfezionamento nel XIV e XV secolo ad opera di numerosi artigiani. L'asse di rotazione divenne orizzontale e, al fine di intercettare i venti provenienti da

qualunque direzione, l'intero mulino venne montato sopra un robusto verticale in grado di consentirne la rotazione (*post windmill*). La successiva evoluzione portò allo sviluppo della tipologia di mulino a vento nel quale l'intera struttura si manteneva fissa, mentre solo la parte superiore (il "cappello") ruotava per adattarsi alle direzione del vento. Questa innovazione consentì di costruire mulini di maggiori dimensioni, incrementandone la capacità di lavoro (venivano impiegati essenzialmente per macinare il grano e per sollevare l'acqua). Ovviamente, a partire dall'Europa, i mulini a vento si diffusero anche nel Nuovo Mondo, dove peraltro nel corso degli anni subirono una ulteriore evoluzione, contribuendo in maniera significativa all'epopea del Far West. In effetti, il mulino a vento rappresentava un efficace ed economico mezzo per il sollevamento dell'acqua, tanto che ben presto entrò a far parte del classico paesaggio della Frontiera americana. La particolarità di tali macchine era

## Ingegneria Senza Frontiere NAPOLI

essenzialmente costituita dal piccolo diametro (al massimo qualche metro), dall'elevato numero di pale (da 20 a 40) realizzate dapprima in legno e poi in metallo. Mulini a vento di maggiori dimensioni erano invece utilizzati per il rifornimento dell'acqua delle locomotive a vapore. Si stima che a partire dal 1850 negli Stati Uniti siano stati installati oltre 6 milioni di mulini a vento. Alla fine del XIX secolo, la scoperta dell'energia elettrica portò allo sviluppo dei primi mulini a vento per l'azionamento di generatori elettrici utilizzati sulle Grandi Pianure. Negli anni '30, infatti, parecchie aziende manifatturiere del Midwest costruivano *windcharger*, cioè piccole turbine eoliche che servivano al caricamento delle batterie o degli accumulatori di energia elettrica, per le abitazioni isolate della "steppa" americana che si estendeva dal Texas all'Alberta (Canada). Molto spesso tali sistemi per il caricamento delle batterie rappresentavano l'unica fonte di elettricità per molte fattorie o ranch prima che avvenisse l'elettrificazione rurale. Vennero installate migliaia di turbine eoliche con una produzione di elettricità che andava dalle poche centinaia di Watt a parecchi kilowatt e vennero battezzate con nomi come Sears, Zenith, Soldato Montgomery, insieme a nomi tipo windcharger, Jacobs, e quello meno conosciuto Parris-Dunn, scritti sulla parte finale delle pale a modo di decorazione. Fra la fine degli anni '40 e i primi anni '50, con l'avvento dell'elettrificazione rurale, l'industria del windcharger ebbe un tracollo. Fu così fino agli anni '70 quando la crisi petrolifera di quel periodo costrinse a considerare, con rinnovato interesse le piccole turbine eoliche quale possibile tecnologia da applicare per produrre energia. In quel momento la strada più breve per l'eolico fu quella di recuperare e mettere nuovamente in produzione un modello degli anni '30. Molti fecero così ed infatti esistono turbine Jacobs e Windcharger, costruite una cinquantina di anni fa ancora operative.



Figura 10- Windcharger Parris Dunn

Negli anni '80, i produttori misero a punto nuovi modelli di piccoli aerogeneratori, la cui progettazione comprende anche quanto imparato attraverso l'impiego del windcharger. La maggior parte delle nuove applicazioni passavano dai generatori a corrente continua agli alternatori a magneti permanenti. La corrente alternata di questi aerogeneratori viene rettificata per caricare una batteria o per alimentare un inverter. Sempre in quegli anni, parecchi produttori costruirono piccole turbine eoliche utilizzando generatori ad induzione per la connessione diretta alla rete locale. Sebbene tecnicamente sia un'elegante soluzione per l'integrazione delle turbine eoliche con la rete elettrica locale, i piccoli aerogeneratori interconnessi sono stati un fallimento

## Ingegneria Senza Frontiere NAPOLI

negli Stati Uniti, per motivi sia politici che di regolamentazione. In Europa, invece, le turbine eoliche di piccola taglia che alimentano generatori asincroni hanno trovato un clima piuttosto recettivo, specialmente in Danimarca, Germania ed Olanda. Verso la metà degli anni '70, molti sperimentatori, hobbisti e modesti laboratori di metallurgia, hanno iniziato a fabbricare macchine eoliche di piccola potenza, progettate per integrare la quantità di energia fornita dalla rete locale. Tali turbine gradualmente aumentarono la potenza da dieci kW, a 30 kW fino ad arrivare nel 1982, ad una potenza di 50 kW. Allo stato attuale questo sforzo di base si è tradotto in un'industria che muove parecchi miliardi e costruisce aerogeneratori con una potenza fino a 2,5 MW. La potenza eolica installata a livello mondiale è pari a circa 47300 MW e cresce con tassi annui molto elevati, tanto che nel solo 2004 sono stati installati nel mondo nuovi impianti per circa 8000 MW. Nell'ambito del panorama mondiale, l'Europa riveste un ruolo primissimo piano. Nel solo 2004 sono stati installati nei 25 paesi dell'Unione Europea circa 5800 MW di impianti eolici, portando la potenza totale installata a circa 34300 MW, con una crescita di circa il 20% rispetto al 2003.



Figura 11 – Turbina AirX in Mongolia a servizio di una famiglia di nomadi.

tassi medi annui di crescita del settore eolico sono oramai di questo ordine di grandezza da diversi anni, in quanto solo nel 1998 la potenza eolica installata nella U.E. era di circa 6500 MW. Il successo delle turbine di media grandezza è solo una parte della storia. Anche se il loro contributo può essere debole, in termini assoluti, le turbine eoliche di piccole dimensioni nella vita quotidiana della gente nelle zone più remote del mondo offrono veramente un notevole contributo. Attualmente, sono più di cinquanta le case produttrici di piccole turbine eoliche in tutto il mondo e producono più di un centinaio di modelli differenti. Negli ultimi venti anni i produttori dei paesi occidentali hanno costruito complessivamente circa 60.000 turbine eoliche di piccola

taglia e decine di migliaia sono state prodotte dalla Cina destinate ai nomadi delle steppe della Mongolia (Figura 11). La maggior parte delle turbine installate ricade nella categoria delle turbine piccole da poter essere trasportate a mano e facilmente installate. Sebbene tali turbine siano state utilizzate per anni sulle barche a vela, hanno conquistato visibilità solo negli anni '90, quando il loro potenziale, amplificato dalle possibili applicazioni "off-grid" sul territorio, è stato largamente riconosciuto. La Southwest Windpower, società produttrice di turbine eoliche, ha risvegliato l'interesse dei potenziali utenti del microeolico con il lancio del suo "elegante" ed economico AIR 303; dal suo debutto nel 1995, la SouthWest ne ha installati più di 20.000 esemplari. L'Air 303 della Southwest ha acquistato terreno sui modelli concorrenti della stessa tipologia: la Marlec, la LVM e l'Ampair. Fra gli anni '80 ed i primi del '90, la Marlec ha prodotto più di 20.000 esemplari del suo multipala Rutland, destinati soprattutto al mercato marittimo; poi c'è la LVM, che ha prodotto circa quindicimila turbine multipala. La Ampair, altra ha installato più di 5000 esemplari di Ampair 100 sempre per il mercato marittimo. Il numero delle turbine per uso domestico, costruite da aziende come la Bergey Windpower e la World Power Technologies, sebbene significativo, è assai più piccolo; le due case produttrici americane, insieme, hanno fabbricato più di 4.000 turbine di piccola taglia, comprese probabilmente le windcharger.

### **3.3.3 "STATO DELL'ARTE" DELLA TECNOLOGIA DI RIFERIMENTO**

#### **3.3.3.1 INDAGINE DI MERCATO**

In allegato vi è una tabella (allegato 3) tutte le macchine eoliche con potenza inferiore ai 20 kW attualmente presenti sul mercato. Queste turbine sono state indicizzate secondo i parametri standard di analisi di tale tecnologia.

#### **3.3.3.2 SCELTA DELLE TURBINE**

La scelta delle turbine da studiare è stata effettuata in base ad indicatori tecnologici specifici ed a considerazioni sulle loro potenzialità di miglioramento tecnologico.

##### **3.3.3.2.1 TURBINE INDUSTRIALI**

Le turbine industriali selezionate sono :

- Bergey XL.1
- Aeromax Energy "Lakota"

In particolare la prima turbina è stata selezionata in funzione della sua robustezza, potenza, economicità e diffusione sul mercato. La seconda, invece, è stata prescelta per le sue peculiarità tecnologiche aerodinamiche che ne massimizzano le prestazioni. Non a caso questa turbina presenta il minor costo per kW prodotto a parità di condizioni ambientali rispetto a tutte le altre.

##### **3.3.3.2.2 TURBINE AUTOPRODOTTE**

Per quanto concerne le turbine auto-prodotte con materiali a basso costo, la scelta è ristretta unicamente ai progetti di Hugh Piggott in quanto questi sono gli unici progetti competitivi presenti sul mercato. Tra i vari progetti selezioniamo quello della turbina a flusso assiale della potenza nominale di 1kW.



## 4.0 GLI AMBITI DI INNOVAZIONE

L'innovazione di Progetto, Processo e Prodotto e riguarderà come già ribadito in questo testo unicamente la tecnologia minieolica e la sua integrazione nel sistema ibrido. Ad ogni ambito corrisponderà la redazione di un elaborato tecnico che stabilirà i passi particolari della ricerca. Qui di seguito elenchiamo le linee guida che verranno seguite nella redazione degli elaborati.

### 4.1 INNOVAZIONI DI PROGETTO

Circa il miglioramento tecnologico di piccole turbine eoliche l'investimento sulle tecnologie disponibili per massimizzare la produzione elettrica basate sull'incremento del  $C_p$  (controllo del passo, velocità variabile, controllo attivo dell'imbardata già presente sulle macchine di media e grande taglia, per citarne alcune), ovvero il trasferimento delle tecnologie dei segmenti superiori è a tutt'oggi controverso. Questo perchè, sebbene sia sempre positivo da un punto di vista strettamente energetico incrementare il rendimento di conversione, il margine di recupero energetico con essi realizzato difficilmente compensa il differenziale economico degli investimenti, specialmente se l'allocazione prevede siti non particolarmente ventosi o turbolenti. Qui entra anche in gioco l'aspetto della gestione della complessità tecnica relativa a tali livelli tecnologici che gioca a sfavore di questa categoria di macchine. Di maggiore impatto potenziale sulla diffusione delle miniturbine, in considerazione dei siti cui possono essere rivolte, si ritengono invece:

- I) Interventi mirati a migliorare la disponibilità tecnica e l'affidabilità degli impianti (concetti entrambi legati alla garanzia della raccolta della risorsa);
- II) Sviluppo di rotorì a basso costo per unità di area spazzata.

Quindi gli interventi plausibili saranno:

- PALA DISEGNATA IN FUNZIONE DEL SITO E DELLA APPLICAZIONE SU SISTEMA IBRIDO
- BUON ACCOPPIAMENTO ROTORE GENERATORE
- MINIMIZZARE I TEMPI DI ORIENTAMENTO
- OTTIMIZZARE L'ORIENTAMENTO
- MINIMIZZARE I TEMPI DI RAGGIUNGIMENTO VELOCITÀ DI PRODUZIONE
- MINIMIZZAZIONE INERZIA DELLA PALA
- MIGLIORAMENTO DELLA FACILITÀ DI INSTALLAZIONE E COSTRUZIONE
- UTILIZZARE MATERIALI APPROPRIATI



## **4.2 INNOVAZIONE DI PROCESSO**

Le innovazioni di processo riguarderanno studio di:

- INDUSTRIALIZZAZIONE DEI PROTOTIPI
- OTTIMIZZAZIONE DEL PROCESSO DI AUTOPRODUZIONE
- STUDIO DI LCA DEL PROGETTO/PROCESSO/PRODOTTO

## **4.3 INNOVAZIONE DI PRODOTTO**

Le innovazioni di prodotto riguarderanno la creazione di:

- TRASFERIMENTO DI KNOW-HOW NEI P.V.S.
- PIANO ENERGETICO LOCALE
- PIANO AMBIENTALE LOCALE
- PROCEDURE SEMPLIFICATE DI PRE FATTIBILITA' IMPIANTO
- PRODUZIONE DI MATERIALE DIDATTICO



## **5.0 RICERCA & SVILUPPO**

L'equipe di ricerca è concepita al fine di introdurre costante innovazione di progetto, prodotto e processo. Inoltre, essa è dimensionata tenendo conto delle necessità di ricerca connesse allo sviluppo di un progetto ambizioso, che non si limita alla realizzazione e gestione di un solo impianto, ma che punta invece alla creazione di un riferimento nel settore a livello nazionale ed, in prospettiva, anche europeo. Detta equipe, che intende dotarsi a regime di 30 unità (di diversa qualifica ed impegnate in diverse funzioni) stabilmente impegnate in tematiche di ricerca, intende promuovere un trasferimento di competenze e know-how tra le unità di personale impegnate in ricerca e quelle coinvolte nella fase di gestione impianti. Si intendono abbattere i costi di immobili creando un centro di calcolo presso la sede di Ingegneria Senza Frontiere Napoli munito di due computer e dei software adeguati alla ricerca ed utilizzando i laboratori della facoltà di Ingegneria dell'Università degli studi di Napoli "Federico II" prendendo di volta in volta accordi con i relativi dipartimenti.

### **5.1 OBIETTIVI DI BREVE, MEDIO E LUNGO TERMINE**

Gli obiettivi della ricerca possono essere distinti in obiettivi di breve, medio e lungo termine. Per obiettivi di breve termine si intende gli obiettivi ed i risultati che ci si impegna a conseguire nell'arco temporale 0-2 anni; per obiettivi di medio termine si intende gli obiettivi ed i risultati che ci si impegna a conseguire nell'arco temporale 0-5 anni; per obiettivi di lungo termine si intende gli obiettivi ed i risultati che ci si propone di conseguire nell'arco temporale 0-10 anni..

#### **5.1.1 OBIETTIVI A BREVE TERMINE**

- Il concepimento, la progettazione e verifica sperimentale di un nuovo prototipo di generatore eolico basato sulle migliorie tecnologiche da approntare ad i modelli scelti nel capitolo 3.3.3.2.1
- Il concepimento, la progettazione e verifica sperimentale di un nuovo prototipo di generatore eolico auto-prodotto con materiali a basso costo basato sulle migliorie tecnologiche da approntare ad i modelli scelti nel capitolo 3.3.3.2.2
- Il trasferimento tecnologico dei risultati ottenuti dai modelli industriali ad un prototipo auto-prodotto realizzato con materiali a basso costo, ottimizzandone il processo produttivo.
- Inserimento dei prototipi realizzati in un progetto di cooperazione internazionale di ISF-Napoli che contenga appropriati piani energetici ed ambientali locali; in modo da poter verificare sul campo i risultati ottenuti.
- Raccolta ed organizzazione dei dati anemologici, di insolazione e climatici dei paesi in via di sviluppo in forma cartografica.





## Ingegneria Senza Frontiere NAPOLI

- Pubblicazione dei dati raccolti e di un hand-book di progettazione avanzata del prototipo realizzato.
- Organizzazione di due convegni, uno di presentazione, l'altro a conclusione di questa prima parte di ricerca

### 5.1.2 OBIETTIVI A MEDIO TERMINE

- Il perfezionamento del proprio know-how e il raggiungimento della completa affidabilità tecnologica dei prototipi sviluppati dagli obiettivi a breve termine.
- Certificazione di qualità e affidabilità sui prototipi.
- Proseguimento delle ricerche tese al miglioramento della tecnologie appropriata.
- Realizzazione di uno studio di fattibilità sulla creazione di una cooperativa incentrata sulla realizzazione di tali sistemi e del trasferimento di know-how nei paesi in via di sviluppo.
- Creazione del primo progetto di cooperazione internazionale di ISF-Napoli, incentrato sul trasferimento di know-how della tecnologia.

### 5.1.3 OBIETTIVI A LUNGO TERMINE

- Evoluzione del modello ibrido nell'era dell'idrogeno.
- Sviluppo ed utilizzo di software specifico distribuito con licenza GPL.

## 5.2 FATTORI CRITICI DI SUCCESSO

### L'esperienza negativa degli anni '70

Negli anni '70, c'era un primo boom di impianti eolici. Trattandosi di impianti rudimentali e senza tecnologia adatte avevano vita molto breve. Questa esperienza, allora per motivi politici non molto pubblicizzata, ha però bloccato e rovinato il mercato per anni, e tutt'ora si incontra molto scetticismo risalente a tale esperienza.

### Barriere psicologiche

In generale esiste una forte barriera psicologica da scavalcare. L'utente nei paesi industrializzati talvolta è una persona conservatrice che non ha mai fretta a fare le cose nuove, e vuole veder da vicino prima le cose funzionanti. ISF Napoli Ambiente & Sviluppo in questo senso cerca la collaborazione con le associazioni ambientaliste nonché con quelle dei consumatori. Ma in generale, ci vuole tempo, molto tempo per convincere la gente a sostenere un investimento innovativo.

### Barriere normative

Le autorizzazioni sono tuttora la barriera più alta! Il D.lgt. 387 del 29. dicembre 2003 prevede il finanziamento del microeolico tramite conto energia ma manca il decreto attuativo.





### **Barriere finanziarie**

Le banche sono poco propense a finanziare tali impianti senza garanzie su incentivazioni in conto energia. Trattasi di un vincolo che spesso impedisce la realizzazione anche di impianti molto economici. Per cavalcare anche questa barriera ISF Napoli Ambiente & Sviluppo metterà a disposizione dei business plan a prova di banca e cercherà anche di stipulare accordi quadro con alcuni istituti di prima categoria (in particolare Banca Popolare Etica). Inoltre svilupperà anche modelli di project financing e leasing.

## **5.3 STRUMENTI E METODOLOGIE DI RICERCA**

La ricerca sarà focalizzata nel settore dell'eolico e sul sistema ibrido. Essa pertanto utilizzerà gli strumenti e le metodologie della ricerca tipiche del settore. Si punterà fortemente sull'introduzione di una filosofia di ricerca industriale finalizzata all'innovazione costante di progetto, prodotto e processo. Occorrerà pertanto fare uso degli strumenti di analisi più innovativi ed in particolare delle tecniche CAE (Computer Assisted Engineering). In tal senso, occorrerà procedere alla progettazione mirata di campagne sperimentali mediante tecniche statistiche, utilizzando tool per il design parametrico delle componenti del sistema (CAD parametrici come Pro-Engineering<sup>®</sup>), a tecnologie di simulazione avanzata (ANSYS<sup>®</sup>, CFD), l'ottimizzazione multiparametro multiobiettivo per la selezione dei migliori design (ModeFRONTIER<sup>®</sup>) e software dedicati a specifiche ricerche quali lo studio dell' LCA, la cartografia e l'analisi dei dati climatici ed anemologici (WasP<sup>®</sup>, WindSim<sup>®</sup>, WindPro<sup>®</sup>).

### **5.2.1 SOFTWARE OPEN SOURCE E TESTI PROTETTI DA LICENZE CREATIVE COMMONS**

Nonostante siano stati citati esclusivamente software protetti da copyright la ricerca se possibile sarà sviluppata utilizzando software distribuiti con licenza GPL sfruttando il supporto tecnico della sezione TIC di Ingegneria senza Frontiere Napoli. Obiettivo finale del progetto sarà realizzare metodologie di progettazione basate solo su questo tipo di software. Tutti i testi e le pubblicazioni redatte durante lo sviluppo del progetto saranno protetti da licenze *creative commons*.

## 5.2.2 DIRECT E REVERSE ENGINEERING

Un approccio di *"direct engineering"* risulterebbe limitante in quanto non consentirebbe di innovare costantemente le tecnologie. Pertanto, ISF intende utilizzare un approccio di *"reverse engineering"*; in altre parole, la fase di sviluppo non sarà limitata alla messa a punto di un prototipo e ad una mera verifica delle prestazioni dello stesso su un caso reale, bensì partirà proprio da queste ultime per fornire input preziosi all'equipe di progetto impegnata nello sviluppo del prototipo. La Figura 12 evidenzia schematicamente quanto descritto.

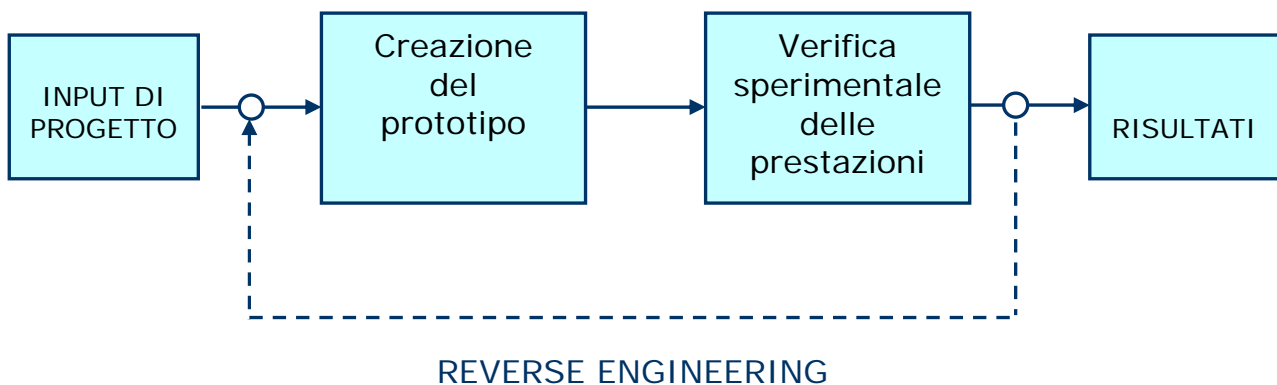


Figura 12 Approccio di direct (linea continua) e reverse (linea tratteggiata) engineering

ISF Ambiente & Sviluppo necessita di un settore trasversale che dovrà prevedere profili tecnico-operativi a diverso grado di specializzazione, capaci di operare il feedback evidenziato dalla linea tratteggiata in figura.



## 6.0 MICROAMBIENTE

### 6.1 PIANO FINANZIARIO

Il piano degli investimenti è relativo ai primi due anni di lavoro. Elenchiamo quindi i costi da sostenere in funzione del raggiungimento degli obiettivi a breve termine.

<b>Voci di Spesa</b>	<b>Costo (euro)</b>
<b>Tecnologie</b>	
Turbina Lakota 1kw	€ 2.800,00
Kit torre Lakota 1kw	€ 1.500,00
Accessori Lakota	€ 1.100,00
Inverter con Lakota	€ 800,00
Turbina Bergey excel XL1	€ 2.600,00
Torre Bergey 9m	€ 1.000,00
Inverter Bergey	€ 1.050,00
Kit batterie 5,3kWh	€ 600,00
Spese doganali Bergey	€ 370,00
Iva, imballo e trasporto ed turbine	€ 2.500,00
Progetti Hugh piggott	€ 110,00
Materiale realizzazione progetto Hugh Piggott	€ 3.500,00
Accessori progetto Hugh Piggott	€ 3.300,00
Inverter per turbina auto-prodotta	€ 800,00
Banco batterie turbina auto-prodotta	€ 500,00
1kW picco di moduli fotovoltaici	€ 6.800,00
Strumenti di misura (multimetro, data logger, anemometri ecc.)	€ 8.000,00
Software di elaborazione	€ 5.000,00
2 Computer	€ 2.000,00
Stampante	€ 150,00
<b>Altri Costi</b>	
Spese convegno apertura e chiusura	€ 1.200,00
Pubblicazione 2 hand-book	€ 1.500,00
2 scrivanie per i computer	€ 250,00
4 sedie	€ 160,00
Cancelleria	€ 100,00
<b>Totale</b>	<b>€ 47.690,00</b>

Il 50% del budget totale è stato coperto da un finanziamento da parte dell'**Assessorato Alla Pace ed alla Cooperazione Della Provincia Di Napoli**. Per la copertura finanziaria del restante 50% Ingegneria Senza Frontiere Napoli è in cerca di partner e donatori.



## **6.2 RISORSE E COMPETENZE**

Alla luce del periodo di pre-incubazione è tracciata l'evoluzione dell'assetto organizzativo e dei ruoli dei proponenti indicando le competenze professionali, le capacità personali dei soci promotori, in relazione allo sviluppo dell'iniziativa.

### **6.2.1 LA STRUTTURA ORGANIZZATIVA E I RUOLI**

Francesco Reale	Supervisione Scientifica
Felice Lucia	Responsabile di Ricerca
Francesco Paraggio	Amministratore delegato e Rapporti istituzionali
Giuseppe Gazzillo	Responsabile tecnico
Vincenzo Cozzone	Direttore operativo

### **6.2.2 KNOW-HOW**

#### **6.2.2.1 UNIVERSITÀ**

##### **Prof Francesco Reale**

- Nato a Napoli nel 1940, risiede a Napoli; è sposato e ha tre figlie.
- Laureato in ingegneria elettrotecnica, ha svolto la sua carriera accademica nell'Università di Napoli Federico II, da assistente incaricato (1968), a libero docente e assistente ordinario (1969), a professore incaricato (1970) a professore ordinario (1975) di Fisica Tecnica.
- E' titolare del corso di Fisica Tecnica per i corsi di laurea di ingegneria civile e di ambiente e territorio e dal 1994 anche incaricato del corso di Gestione delle risorse energetiche nel territorio, nonché dal 1991 Docente del corso di specializzazione di ingegneria sanitaria e ambientale.
- Componente dei seguenti Consigli Scientifici:
  - Progetto Finalizzato Energetica 1 e 2 del CNR-ENEA (1976-1990)
  - Cesen-Centro Studi Energia, Genova (1978-1980)
  - Istituto di acustica Corbino, Roma (1974-1977)
  - Heat Pipe International Conferences (1976-1981)
  - Progetto Finalizzato Chimica Fine del CNR (1980-1985)
  - Phoebus, Catania (1978-1980)
  - Gruppo Nazionale Scambio Termico del CNR (1978-1982)
- Responsabile del Progetto Energia Solare del CNR (1976-1978)
- Vice Presidente del Comitato Esecutivo dell'Accordo AIE Solar Power Systems (Progetto Almeria) (1979-1986)
- Delegato Italiano nel Comitato CREST-Energia della CEE (1975-1987)



- Delegato Italiano nei Working Groups dell'AIE-Agenzia Internazionale per l'Energia
  - Sistemi solari di potenza (1976-1978)
  - Energia eolica (1976-1977)
  - Energia dal mare (1976)
- Relatore dell'AIE-Agenzia Internazionale per l'Energia nelle indagini pluriennali sulle politiche scientifiche di:
  - Belgio (1977)
  - Norvegia (1977-1978)
- Delegato italiano per la presentazione della politica scientifica all'AIE (1977-1982)
- Responsabile del programma del Cesvitec "Promozione della ricerca applicata nelle piccole industrie" (1974-1978)
- Coordinatore dei corsi di Energy Management dell'Unione delle Camere di Commercio della Campania (1982-1985)
- Relatore invitato al Congresso Mondiale di Energia Solare, Perth (1983)
- Delegato italiano e vice-presidente del Comitato Esecutivo dell'Accordo AIE Sistemi Solari di Potenza (1989-1993)
- Componente del Technical Review Board del Department of Energy of the U.S.A. per le centrali solari commerciali (1988-1990)
- Responsabile di Unità Operative del Progetto Finalizzato Energetica e del Progetto Finalizzato Edilizia (1990)
- Direttore del Progetto multidisciplinare di ricerca sul Bradisismo Flegreo (1985-1988)
- Delegato italiano e vice-presidente del Comitato Esecutivo dell'Accordo AIE Energy Storage (1990-1994)
- Componente del Consiglio del Centro Italiano di Ricerca Aerospaziale (1991-1994)
- Responsabile di ricerca per conto dell' Agenzia Aerospaziale Italiana (1992)
- Componente del Comitato Scientifico di Mediterintec (1995-96)
- Componente del Comitato Tecnico del Cesvitec (1970- 1998)
- Delegato italiano al 5<sup>^</sup> Programma Quadro dell'Unione Europea ( Comitato crescita competitiva e sostenibile) (attuale)
- Coordinatore del Comitato d Consulenza Tecnico Scientifica dell'ENEA. (attuale)
- Consulente di più Ministri per la Ricerca Scientifica in particolare in occasione di:
  - avvio delle attività di ricerca CEE in campo energetico del 1975
  - piano nazionale della ricerca energetica del 1980
- Consulente di più Presidenti della Regione Campania in particolare in occasione di:
  - ricostruzione post sisma del 1980
  - delocalizzazione degli impianti petroliferi di Napoli Est del 1994 - piano regionale dei rifiuti del 1996



### 6.2.2.2 ENEA

L'ENEA (Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente) è un ente di diritto pubblico operante nei campi della ricerca e dell'innovazione per lo sviluppo sostenibile finalizzata a promuovere insieme gli obiettivi di sviluppo, competitività e occupazione e quello della salvaguardia ambientale. Svolge altresì funzioni di agenzia per le pubbliche amministrazioni mediante la prestazione di servizi avanzati nei settori dell'energia, dell'ambiente e dell'innovazione tecnologica. In particolare l'ente:

- Svolge, sviluppa, valorizza e promuove la ricerca in tema di energia, ambiente e innovazione tecnologica nel quadro dei programmi di ricerca nazionali, dell'unione europea e di altre organizzazioni internazionali;
- Sostiene e favorisce i processi di innovazione e di trasferimento tecnologico al sistema produttivo e alle pubbliche amministrazioni;
- Fornisce supporto tecnico specialistico ed organizzativo alle amministrazioni, alle regioni e agli enti locali, nell'ambito di accordi di programma con i ministeri dell'industria, dell'ambiente e dell'università e della ricerca scientifica e con altre amministrazioni pubbliche.

L'Ente ha circa 3600 dipendenti che operano in centri di ricerca distribuiti su tutto il territorio nazionale.

#### **Angelo Moreno**

Manager e ricercatore dell' ENEA (board member) avrà un ruolo importante nella gestione della ricerca nelle future applicazioni dei sistemi studiati in combinazione con celle a combustibile. L'unità alla quale Angelo Moreno appartiene, Grande Progetto Idrogeno e Celle a Combustibile (IDROCOMB) e nella quale esplica la funzione di responsabile del progetto Celle a Combustibile ad Alta Temperatura, sta dedicando un notevole sforzo nell'individuazione di catene energetiche basate sull'impiego delle celle a combustibile per la valorizzazione energetica delle biomasse al fine di ottimizzare tali catene energetiche sia dal punto di vista della resa energetica che dal punto di vista di ritorno economico sia infine dal punto di vista della minimizzazione dell'impatto ambientale. La sua collaborazione è mirata allo sviluppo di piani energetici ed ambientali locali da accompagnare alle installazioni degli impianti pilota ed alla applicazione di celle a combustibile sugli stessi.

#### **Luciano Pirazzi**

Nel corso delle sue attività all'ENEA, già CNEN, si è dapprima occupato di energia nucleare e, successivamente, a partire dall'aprile del 1980, è stato coinvolto, con la mansione di ricercatore, in compiti di approfondimento delle conoscenze nel settore dell'energia eolica. In seguito, dopo l'effettuazione di valutazioni sul potenziale eolico italiano ed alcune attività nel settore dell'anemologia e sitologia, si è occupato della tecnologia e delle possibilità di sviluppo degli aerogeneratori di piccola e media taglia nel nostro paese. Dal 1994 al 2001 è stato membro alternato presso l'organizzazione dell'IEA (Agenzia Internazionale dell'Energia), nel Comitato Esecutivo del "Wind Implementing Agreement". Attualmente, in tale comitato, ricopre la carica di membro nazionale. Nell'ambito delle sue attività presso l'ENEA, da solo o in collaborazione con altri colleghi, ha pubblicato diversi articoli inerenti l'energia eolica, a livello nazionale ed internazionale e, da qualche anno, si sta occupando della diffusione dell'informazione sulle caratteristiche tecnologiche, sulla situazione di mercato e sui pregi ambientali connessi allo sfruttamento di questa fonte energetica.



### **6.2.2.3 INGEGNERIA SENZA FRONTIERE - Napoli**

#### **Felice Lucia**

L'Ing. Felice Lucia , Energy Manager, collabora da tempo con l'ENEA, prima avendo effettuato un tirocinio presso l'Enea di Roma (con il dott. Emanuele Scoditti), in collaborazione con il Dipartimento di Energetica della Federico II di Napoli (prof. Francesco Reale), occupandosi dello studio delle potenzialità delle biomasse su tutto il territorio nazionale, a scala provinciale e poi avendo elaborato e implementato una vecchia metodologia Enea per la disponibilità di biocombustibili solidi, tramite un foglio di lavoro excel, che facilmente si adatta ad una Comunità Montana. Il lavoro è stato tra l'altro presentato alla 14th Conferenza mondiale delle Biomasse, tenutasi a Parigi dal 17 al 21 ottobre 2005. Inoltre da marzo collabora con Angelo Moreno sulla valorizzazione energetica dei biocombustibili in impianti integrati basati su tecnologie innovative (celle a combustibile a carbonati fusi). La collaborazione riguarda sia la valorizzazione di biomasse da rifiuti urbani, agro-alimentari, zootecnici, sia la valorizzazione di biomasse coltivate. Le tecnologie studiate per la produzione di biogas sono la fermentazione/digestione anaerobica e la gasificazione per la produzione di miscele di idrogeno e/o di metano.

#### **Francesco Paraggio, Giuseppe Gazzillo e Vincenzo Cozzone**

Studenti della facoltà di Ingegneria dell'Università degli studi "Federico II" di Napoli. Francesco Paraggio e Giuseppe Gazzillo laureandi in Ingegneria per L'Ambiente ed il Territorio ed entrambi studenti del prof. F.Reale. Vincenzo Cozzone studente di Ingegneria Meccanica. Soci ordinari dell'associazione Ingegneria senza frontiere Napoli; Francesco Paraggio fondatore della stessa.



## 7.0 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Paul Gipe, *ELETTRICITÀ DAL VENTO*, Titolo Originale Wind Energy Basics, Traduzione Dall'inglese Di Emanuela Fantini Perullo

Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, Ervin Bossanyi *WIND ENERGY HANDBOOK* ed. John Wiley and Sons

Lorenzo Battisti, *MIGLIORAMENTO TECNOLOGICO DELLE MINI-TURBINE* (DIMS – Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Strutturale, Facoltà di Ingegneria di Trento) Rivista "WIND ENERGY" Anno 2 n.2

A.A. V.V., *MARKET ,PRODOTTI A CONFRONTO*, Rivista FV FOTOVOLTAICI Rivista Anno 2 n.5 – 2005

Roberto Rizzo, *IL SOLE PER I PAESI IN SVILUPPO*, Rivista FV FOTOVOLTAICI, anno 2 n.3-2005

Luciano Carrino, *PERLE E PIRATI CRITICA DELLA COOPERAZIONE ALLO SVILUPPO E NUOVO MULTILATERALISMO*. Ed. Erickson

*WIND TURBINE DESIGN CALCULATIONS – THE STATE OF THE ART;*  
D.C. Quarton F. Rasmussen C. Nath K. Agyriadis

*L'ENERGIA EOLICA* – opuscolo n° 19 della collana sviluppo sostenibile;  
Ed. ENEA

G. De Pratti, G. Lo Bianco, F.P. Vivoli, *ENERGIA DAL VENTO. LA FONTE, LA TECNOLOGIA E LO STATO DELL'ARTE;* Ed. ISeS Italia (1999)

*EXTERNALITIES OF ENERGY* –vol.6 Wind and Hydro;  
European commission, Ed. EUR 16525 EN.

1997. M.Palazzetti, M. Pallante: *"L'USO RAZIONALE DELL'ENERGIA"*, Bollati Boringhieri eds. Milano

International Energy Agency (IEA) [www.iea.org](http://www.iea.org). *STATISTICS ON WORLD ENERGY*, 2001

FAO, [www.fao.org](http://www.fao.org), *STATISTICAL DATABASE*, 2004

Aydogan Ozdamar\*, Necdet Ozbalta, Alp Akin, E. Didem Yildirim *AN APPLICATION OF A COMBINED WIND AND SOLAR ENERGY SYSTEM IN IZMIR* Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ege University, Bornova, 35100 Izmir, Turkey

Naif M. Al-Abbadi *WIND ENERGY RESOURCE ASSESSMENT FOR FIVE LOCATIONS IN SAUDI ARABIA* Energy Research Institute, King Abdulaziz City for Science and Technology, KACST, P.O. Box 6086, Riyadh 11442, Saudi Arabia





Ingegneria Senza Frontiere NAPOLI

Strong SJ. *THE SOLAR ELECTRIC HOUSE*. Massachusetts: Sustainability Press; 1993

Alfano G., Vittorio Betta, *FISICA TECNICA, TERMODINAMICA APPLICATA E PRINCIPI DI IMPIANTI TERMICI*, Liguori editore

Butera Federico M., *DALLA CAVERNA ALLA CASA ECOLOGICA STORIA DEL COMFORT E DELL'ENERGIA*, Edizioni ambiente

Carlomagno Giovanni Maria, *FLUIDODINAMICA*, Liguori editore

Della Volpe Renato, *MACCHINE*, Liguori editore

Manfredi Mario, *IL VALORE AMBIENTE RICONOSCIMENTO E RESPONSABILITÀ*, Schena editore

Piggott Hugh, *WINDPOWER WORKSHOP*, British Wind Energy Association

Rifkin Jeremy, *ECONOMIA ALL'IDROGENO*, Mondadori editore

Verdolino Luigi, Falco Simone, *ELEMENTI DI ELETTROTECNICA*, Liguori editore

Aws Scientific, *WIND RESOURCE ASSESSMENT HANDBOOK*, National Renewable Energy Laboratory

Harry L.Wegley, James V. Ramsdell, Montie M. Orgill, Ron I. Drake, *A SITING HANDBOOK FOR SMALL WIND ENERGY CONVERSION SYSTEM*, Battelle

Alessandro Brusa, Elena Guarnone, Elio Smedile, *DOSSIER MICROEOLICO, Progetto RES & RUE Dissemination*, a.p.e.r. associazione produttori energia da fonti rinnovabili

[www.enea.it](http://www.enea.it)

[www.energoclub.it](http://www.energoclub.it)

[www.scoraigwind.com](http://www.scoraigwind.com)

World Health Organization [www.who.int/en/](http://www.who.int/en/)

2003 World Wind Energy Association (WWEA)

[http://www.wwindea.org/pdf/WWEA\\_InstallationFigures\\_World2003.pdf](http://www.wwindea.org/pdf/WWEA_InstallationFigures_World2003.pdf)

Matt Coleman, Steve Provol *WIND POWER ECONOMICS* Rivista RE-FOCUS luglio/Agosto 2005

Dieter Holm *TRANSITIONING TO RE Renewable energy opportunities for the Developing World* tratto da ISES White Paper. Rivista REFOCUS Settembre/Ottobre 2005



## 8.0 INDICE DELLE FIGURE

- Figura 1 - andamento della CO<sub>2</sub> e della temperatura nell'atmosfera...8
- Figura 2 – previsioni dell'aumento della temperatura media terrestre...8
- Figura 3 – Andamento del costo dell'energia prodotta da eolico...16
- Figura 4 – Sezione della cella Fotovoltaica...18
- Figura 5 – Piccola turbina eolica...21
- Figura 6 – Turbina Hugh Piggott...23
- Figura 7 – Bilanciamento di una Pala...24
- Figura 8 - Mulino Persiano...25
- Figura 9 – WindMill...25
- Figura 10 – Windcharger Tennis-Dunn...26
- Figura 11 – Turbina AIRX della SouthWest WindPower a servizio di una famiglia nomade in Mongolia...27
- Figura 12 – Processo di reverse engineering...34

## 9.0 ALLEGATI

- Allegato 1 – Moduli Fotovoltaici
- Allegato 2 – Inverter, regolatori di carica e batterie
- Allegato 3 – Turbine eoliche