

Fabio Andreolli



Dario Flaccovio Editore

Impianti mini e micro eolici

Guida alla progettazione e realizzazione



- Valutazione dell'investimento e procedure autorizzative ✓
- Il vento, le mappe e le misure ✓
- Possibili soluzioni realizzative ✓
- Manutenzione e sicurezza ✓

Fabio Andreolli

IMPIANTI MINI E MICRO EOLICI

Guida alla progettazione e realizzazione



Dario Flaccovio Editore

Dedicato alla mia famiglia

Fabio Andreolli

IMPIANTI MINI E MICRO EOLICI – Guida alla progettazione e realizzazione

ISBN 978-88-579-0017-9

© 2011 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: maggio 2011

Andreolli, Fabio <1964->

Impianti mini e micro eolici : guida alla progettazione e realizzazione / Fabio Andreolli. -

Palermo : D. Flaccovio, 2011.

ISBN 978-88-579-0017-9

1. Impianti eolici.

621.312136 CDD-22

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana “Alberto Bombace”

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, maggio 2011

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

INDICE

Presentazione di Roberto Borgonovo

Presentazione di Tiziano Viganò

Premessa

1. L'energia eolica

1.1. Cenni introduttivi.....	»	1
1.2. L'Europa 2020-20	»	2
1.3. Il ruolo dell'eolico.....	»	4
1.4. Mini e microeolico	»	5

2. La valutazione dell'investimento

2.1. L'approccio.....	»	9
2.2. La producibilità elettrica.....	»	13
2.3. Il contratto di vendita dell'energia	»	15
2.3.1. Impianti con potenza uguale o inferiore a 20 kW	»	16
2.3.2. Impianti con potenza superiore a 20 kW	»	19
2.4. I costi degli impianti	»	21
2.5. I benefici ambientali	»	22

3. Procedure autorizzative

3.1. Cenni introduttivi.....	»	25
3.2. Autorizzazioni per impianti fino a 20 kW	»	26
3.3. Autorizzazioni per impianto oltre i 20 kW	»	26
3.4. Valutazione impatto ambientale	»	27
3.4.1. Impatto paesaggistico.....	»	28
3.4.2. Impatto naturalistico.....	»	30
3.4.3. Impatto acustico.....	»	32
3.4.4. Impatto dei campi elettromagnetici sulle telecomunicazioni	»	34
3.4.5. Impatto sulla sicurezza dei luoghi.....	»	34

4. Il vento, le mappe e le misure

4.1. Il vento	»	37
4.2. Le mappe	»	39
4.3. Le misure	»	44

5. Cenni di aerodinamica

5.1. Cenni introduttivi.....	»	53
5.2. Le forze aerodinamiche	»	53
5.3. La pala dell'aerogeneratore	»	54
5.4. La legge di Betz	»	56

6. Le tecnologie

6.1. Componenti.....	»	59
6.1.1. Le fondazioni e il supporto di sostegno	»	59
6.1.2. La navicella e i suoi componenti principali	»	60
6.1.3. La velocità di avviamento (<i>cut in speed</i>)	»	60
6.1.4. La velocità di uscita (<i>cut off speed</i>).....	»	60
6.1.5. Il controllo del passo delle pale (<i>pitch control</i>)	»	60
6.1.6. Il controllo dell'imbardata (<i>yaw control</i>).....	»	60
6.1.7. Il controllo del rotore (<i>stall control</i>).....	»	61
6.2. Aeromotori.....	»	61
6.2.1. Aeromotori ad asse orizzontale lenti.....	»	62
6.2.2. Aeromotori ad asse orizzontale veloci.....	»	62
6.2.3. Aeromotori ad asse verticale	»	63
6.3. Generatori	»	64
6.4. Telecontrollo	»	65

7. Possibili soluzioni realizzative

7.1. Impianti in isola	»	69
7.2. Impianti connessi in rete per lo scambio sul posto	»	70
7.3. Impianti connessi solo in rete	»	71
7.4. Impianti ibridi	»	72
7.5. Impianti a recupero di energia e idrogeno	»	74
7.6. <i>Green design</i>	»	75
7.7. Nuove soluzioni	»	80
7.7.1. Eolico autostradale.....	»	80
7.7.2. <i>Kite gen</i>	»	80
7.7.3. Treni di turbine	»	81
7.7.4. Sospensione magnetica.....	»	81
7.7.5. Sistemi a recupero di energia da vortici artificiali.....	»	81

8. Il progetto

8.1. Fasi principali	»	83
8.2. Studio di fattibilità.....	»	83
8.3. Realizzazione.....	»	89

9. Manutenzione e sicurezza

9.1. La manutenzione.....	»	93
9.2. Sicurezza	»	95
Principali riferimenti normativi.....	»	97
Bibliografia.....	»	101

PRESENTAZIONE

di Roberto Borgonovo

Energie rinnovabili, energie alternative: sempre più spesso questi termini vengono impiegati alla stregua di luoghi comuni, sintomo che l'argomento energia è ormai di interesse a tutti i livelli sociali.

È fuor di dubbio che le energie rinnovabili, non solo nel prossimo futuro ma anche in un arco di tempo decisamente più lungo, rivestiranno un peso sempre maggiore nel panorama economico ed energetico a livello mondiale: a supporto tale affermazione sta il fatto che le principali aziende petrolifere si stanno muovendo verso una diversificazione degli impianti di produzione e dirottando parte degli investimenti verso il rinnovabile.

Recentemente, la parte del leone in Europa è di pertinenza del fotovoltaico, che gode di una forma di incentivazione (in Italia denominata *Conto energia*) molto gratificante, subito seguito dall'eolico, che ha visto il fiorire di impianti sempre più grandi, installati su torri che sfiorano i 100 metri di altezza e pale dal diametro di più di 80 metri, con potenze di picco per ogni torre fino a 3 MW.

Questo libro, che vuole essere una guida utile per chi vuole entrare nel mondo dell'eolico, tratta di impianti che si possono definire *microeolici* e cioè impianti con potenza di picco per traliccio fino a 20 kW. Questi impianti presentano il notevole vantaggio di essere alla portata di tutti e di avere un impatto architettonico decisamente ridotto, come del resto ridotte sono le dimensioni degli aerogeneratori, che possono essere scelti in funzione della velocità prevista dei venti, come descritto nel relativo capitolo.

Questa guida rappresenta dunque un'interessante novità nel settore delle energie rinnovabili, quali sono il mini e microeolico e tratta tutta la materia nel suo complesso, dalla progettazione di un gruppo eolico, partendo dallo studio dei venti di un sito, alla progettazione degli aerogeneratori, con cenni di aerodinamica, fino alla valutazione economica dell'investimento, nonché l'iter autorizzativo necessario all'installazione.

Roberto Borgonovo

Docente per certificatori di risparmio energetico, titolare studio tecnico specializzato in energie rinnovabili, membro delegato al Comitato elettrotecnico italiano (CEI) per i CT 99 (impianti elettrici di potenza)

PRESENTAZIONE

di Tiziano Viganò

Un libro, per capire meglio e non fidarsi delle apparenze. Un libro che rimette le cose a posto, che chiama le cose con il loro nome.

L'energia eolica è, all'interno del panorama delle energie rinnovabili, la più controversa; questo libro ne analizza tutte le implicazioni da un punto di vista tecnico e permette di porre le basi per ogni pensiero o analisi che si voglia portare avanti. Indirizzato a tecnici del settore che potranno trovare tutte le indicazioni utili nell'approccio e nello sviluppo delle loro attività, questo libro sviluppa inoltre, in modo totalmente originale, l'analisi dell'impatto ambientale e le ricadute sociali, etiche ed ecologiche della scelta eolica. Consente a tutti di effettuare una valutazione costi/benefici, oltre che economica, in una società che richiede sempre più energia per crescere e contemporaneamente vede nella salvaguardia ambientale un impegno imprescindibile per il futuro di tutti.

Una lettura utile al tecnico per la chiarezza e la semplicità della trattazione e interessante per chi vuole approfondire questo tema senza preconcetti.

Tiziano Viganò

Esperto di risparmio energetico e energie rinnovabili, membro delegato al Comitato elettrotecnico italiano (CEI) per i CT 82 (fotovoltaico), CT 13 (contatori di energia), CT 313 (smart grid)

PREMESSA

Questo testo è destinato a tutti coloro che, attratti dalle energie da fonti rinnovabili, in particolare da quella eolica, siano interessati a valutare correttamente il potenziale (anche etico) di un investimento e a conoscere i criteri fondamentali per progettare e realizzare impianti di taglia mini o micro, di facile portata economica e con un rapido raggiungimento del punto di pareggio dell'investimento. Il mio interesse per l'aerogenerazione nasce dalla personale passione per il vento e la navigazione a vela che ha contribuito a far scattare in me la necessità di fare il punto su una antica fonte di energia rinnovabile e risorsa economica. Ho così raccolto appunti, esperienze, foto e disegni che ho sintetizzato in forma di guida da consultare ogni volta che se ne presenti la necessità.

Il libro si articola in un percorso che conduce il lettore a conoscere la necessità e il valore economico ed etico delle fonti rinnovabili come quella eolica, la loro origine fisica e la tecnologia a disposizione, nonché le modalità di progettazione e realizzazione di un impianto, anche attraverso esempi. In conclusione, sono riportate le norme di riferimento e le fonti di consultazione, comprese quelle più referenziate disponibili su Internet.

Auguro a tutti una buona lettura e rilettura di questo mio testo che vuole essere una guida utile in ogni momento.

Buon vento!

1. L'ENERGIA EOLICA

1.1. Cenni introduttivi

Secondo le ultime indagini, il settore eolico italiano annovera oltre 4500 aerogeneratori per una potenza complessiva superiore ai 5000 MW in continua crescita per potenza installata e per numero di addetti, con previsioni di 16200 MW installati entro l'anno 2020, pari a circa il 7% del consumo interno previsto per quell'epoca in Italia, a dispetto della recessione globale.

Il successo di questa forma di sfruttamento e generazione di energia fondamentale è dovuto alla larga disponibilità di tecnologie e prodotti affidabili, alla convenienza economica, inclusa la possibilità di poter produrre indipendentemente da crisi economiche e politiche (contrariamente a molte fonti oggi utilizzate) e dal senso etico che suscitano tutte le fonti rinnovabili per il rispetto ambientale.

Esistono oggi grandi campi eolici installati a terra (*on-shore*) e in mare aperto a largo delle coste (*off-shore*), con aerogeneratori di taglia superiore ai 3 MW e con diametro del rotore superiore a 100 metri installati sia a terra sia nel mare aperto. Non ultimi vi sono i piccoli impianti di produzione denominati mini e micro eolici, nel passato relegati a funzioni di alimentazione di soccorso per abitazioni isolate (rifugi alpini, baite, isole, imbarcazioni, fari, boe, ecc.) o di aeromotori (azionamento di pompe dell'acqua per pozzi, mulini ecc.), che oggi presentano taglie fino a 200 kW e possono soddisfare molte utenze domestiche e piccole di tipo industriali, godendo di tutti gli incentivi vigenti.

Come per tutti gli investimenti basati sullo sfruttamento di fonti rinnovabili, la produzione di energia è dipendente dalla disponibilità della fonte energetica, in questo caso, il vento; pertanto le caratteristiche e l'ubicazione geografica dell'impianto determinano la continuità della produzione.

Queste soluzioni sono anche vincenti nei confronti delle altre principali rinnovabili: infatti, se paragonate a un impianto fotovoltaico, a pari sito, presentano un costo di realizzazione e un'occupazione della superficie inferiore; considerato inoltre che possono operare indipendentemente dalla presenza della luce, hanno una produzione di energia maggiore, portando così il punto di pareggio dell'investimento anche alla metà del tempo. Inoltre si dimostrano vantaggiose nei con-



Figura 1.1. Parco di aerogeneratori eolici

fronti dell'idroelettrico, che necessita di importanti infrastrutture, quali corsi o invasi e concessioni per lo sfruttamento dell'acqua, o del geotermico, limitato a pochi siti al mondo, oppure ancora delle biomasse, soggette al variare del costo del combustibile e al continuo controllo e abbattimento delle emissioni gassose.

1.2. L'Europa 2020-20

L'Unione europea ha svolto un ruolo di primo piano nell'elaborazione dei due grandi trattati internazionali sui cambiamenti climatici: la *Convenzione quadro* delle Nazioni unite del 1992 e il relativo *Protocollo di Kyoto*, approvato nel 1997. Nonostante si tratti di due risultati importanti, le recenti prove scientifiche dimostrano che urge un'azione globale molto più ampia e rapida per evitare che l'effetto serra raggiunga livelli irreversibili. A titolo di esempio, la temperatura media globale è già aumentata di 0,8 °C rispetto all'era preindustriale.

Alla conferenza ONU del dicembre 2009 sui cambiamenti climatici, l'Unione europea ha offerto il proprio sostegno all'accordo di Copenaghen, considerato il primo passo verso un trattato globale giuridicamente vincolante in grado di sostituire il Protocollo di Kyoto nel 2013.

Nel 2008 l'Europa ha assunto l'impegno incondizionato di ridurre le emissioni entro il 2020 di almeno il 20% rispetto ai livelli del 1990 e sta già attuando norme vincolanti al fine di:

- ridurre i gas a effetto serra del 20%;
- ridurre i consumi energetici del 20% attraverso un aumento dell'efficienza energetica;

- soddisfare il 20% del fabbisogno energetico europeo mediante l'utilizzo delle energie rinnovabili.

Questa azione è mirata a indirizzare l'Europa verso un futuro sostenibile sviluppando un'economia a basse emissioni di CO₂ improntata all'efficienza energetica, rafforzando la sostenibilità e la sicurezza degli approvvigionamenti, contribuendo nel contempo a promuovere lo sviluppo economico e l'occupazione e a limitare i costi energetici per le famiglie e le imprese.

Al vertice di Copenaghen, la comunità scientifica e le personalità politiche hanno riconosciuto che il surriscaldamento del pianeta non deve superare i 2 °C; per rimanere al di sotto di questa soglia, le emissioni globali devono stabilizzarsi prima del 2020, per poi essere almeno dimezzate rispetto ai livelli del 1990 entro il 2050, per continuare anche in seguito a diminuire.

L'Unione europea ha reiterato la propria disponibilità ad abbattere le emissioni anche del 30%, a condizione che gli altri paesi industrializzati assumano un impegno analogo, inclusi i paesi in via di sviluppo che beneficeranno di un contributo. Riducendo i consumi energetici del 20% entro il 2020, l'UE punta ad abbattere le emissioni di quasi 800 milioni di tonnellate l'anno, con un risparmio di circa 100 miliardi di euro. L'iniziativa prevede di coinvolgere i tre settori maggiormente responsabili, ovvero edilizia, trasporto e industria.

Per l'edilizia, dove abitazioni ed edifici rappresentano il 40% del fabbisogno energetico europeo e dove il consumo di energia potrebbe essere ridotto di un terzo, sono state adottate misure per migliorare la progettazione e dotare gli edifici di sistemi più efficienti per l'illuminazione, il riscaldamento, il condizionamento e l'acqua calda (il D.Lgs. 192/2005, e D.Lgs. 311/2006, reso attuativo dal D.P.R. 59/09, che recepisce la Direttiva 2002/91/CE).

Per quanto riguarda il trasporto, che rappresenta il 26% del fabbisogno energetico europeo, le misure prevedono limitazioni delle emissioni a 120 g di CO₂/km per le vetture dal 2012 (Regolamento n. 443/2009), mentre verrà promossa la vendita di automobili meno inquinanti attraverso una campagna che fornisca informazioni più chiare in merito al prodotto. Verranno inoltre previsti incentivi per soluzioni alternative, come ad esempio il trasporto pubblico, il trasporto non motorizzato e il telelavoro.

Per l'industria, che rappresenta il 25% del fabbisogno energetico europeo, verranno applicati standard di progettazione ecocompatibile a taluni articoli, quali ad esempio boiler, televisori (Regolamento CE n. 642/2009), frigoriferi e congelatori (Regolamento CE n. 643/2009) e prodotti per l'illuminazione (Regolamento CE n. 244/2009 e CE n. 245/2009), motori elettrici e inverter (Regolamento CE n. 640/2009), al fine di migliorarne il rendimento. Anche in questo caso, verrà promosso il marchio di qualità ecologica che indicherà al consumatore i prodotti più rispettosi dell'ambiente e più efficienti dal punto di vista del consumo energetico. I numerosi vantaggi offerti dalle fonti energetiche rinnovabili sono ormai ampia-

mente riconosciuti: contribuiscono infatti a contrastare i cambiamenti climatici, offrono un approvvigionamento energetico sicuro e soddisfano interessi economici di lungo termine. Da ciò consegue l'impegno dell'UE a diversificare ulteriormente il proprio mix energetico, portando al 20% la quota delle fonti rinnovabili e puntando all'utilizzo dei biocarburanti e di altre energie rinnovabili nel settore dei trasporti entro il 2020.

Infatti, privilegiando le fonti rinnovabili sarà possibile ridurre su base annua il consumo di combustibili fossili di 200-300 milioni di tonnellate e le emissioni di CO₂ di ben 600-900 milioni di tonnellate, riducendo inoltre progressivamente la dipendenza dalle forniture esterne e le esposizioni alle fluttuazioni dei prezzi dei combustibili fossili.

In quest'ottica anche i settori dell'alta tecnologia potranno cogliere nuove opportunità economiche attraverso lo sviluppo di tecnologie a basse o a zero emissioni basate su fonti energetiche rinnovabili come l'energia eolica, solare o idroelettrica e la biomassa.

Sarà compito di ciascun paese promuovere lo sviluppo e il consumo di fonti rinnovabili per la produzione di energia elettrica, il riscaldamento, il condizionamento dell'aria e i trasporti. Per questi ultimi, in particolare, è previsto in tutti i paesi un tasso di utilizzo dei biocarburanti e altri carburanti derivanti da fonti rinnovabili pari al 10% che dovranno essere prodotti in maniera sostenibile, per non pregiudicare la produzione alimentare e la biodiversità e non causare fenomeni di deforestazione.

Tutti i paesi stanno promuovendo lo sviluppo di tecnologie, prodotti e servizi a basso consumo nei settori che più si prestano al risparmio energetico. L'Italia, con il Programma nazionale di riforma (Dipartimento politiche europee – Programma nazionale di riforma – novembre 2010), al momento ha adottato un obiettivo del 13,4% sull'efficienza energetica misurato come risparmio di energia primaria del 17% per le energie rinnovabili.

1.3. Il ruolo dell'eolico

Poiché le centrali eoliche costituiscono dei veri e propri impianti industriali, la loro collocazione in aree pregevoli dal punto di vista ambientale risulta del tutto inconciliabile con la vocazione spiccatamente naturalistica di questi territori. Inoltre va notato che proprio per il fatto che vengono, nella maggior parte dei casi, realizzate in aree isolate, spesso è necessario costruire anche infrastrutture di servizio, quali strade e linee elettriche, che ne aumentano ulteriormente l'impatto sull'ambiente.

Tuttavia è bene sottolineare che l'utilizzo dell'energia eolica consente d'altro canto di evitare l'immissione nell'atmosfera delle sostanze inquinanti e dei gas serra prodotti dalle centrali di generazione convenzionali.

L'Unione europea ha calcolato che, per raggiungere gli obiettivi del 2020, l'energia eolica dovrà rappresentare almeno il 12% del potenziale produttivo di energia. L'eolico rappresenta una fonte di energia rinnovabile a emissioni zero (in operazione) e impiega, a differenza di altre fonti di energia, un combustibile gratuito. Secondo la European Wind Association, nel 2009 la potenza eolica italiana rappresenta il 6,7% della potenza installata nell'Unione europea a 15 membri e il 3,1% di quella mondiale.

Tra il 2004 e il 2009 la crescita complessiva è stata del 335% in Italia, del 114% nell'Unione europea e del 233% nel mondo. Nell'Europa dei 27 la potenza eolica installata a fine 2009 era pari a 74815 MW, di cui il 98% di pertinenza dell'Europa dei 15, con 73.242 MW installati.

La Germania è il paese in cui sono stati installati più impianti con una potenza complessiva pari a 25777 MW, seguita dalla Spagna con 19149 MW e da Italia e Francia, nelle quali la potenza installata è rispettivamente pari a 4898 e 4492 MW. Questi quattro paesi rappresentano il 74% dei 73.242 MW installati all'interno dell'Europa dei 15.

È interessante notare come il solo eolico in Danimarca copra il 20% dei consumi, mentre in Italia l'eolico copre solo il 1,7%, nonostante una capacità produttiva superiore. La superiorità produttiva danese, agevolata anche dall'abbondanza di vento sul proprio territorio, incluso quello al largo delle coste (*off-shore*), ha permesso la nascita del più grande costruttore al mondo di aerogeneratori e la costituzione di un'importante filiera locale.

Gli impianti eolici in Europa sono posseduti per il 25% da aziende municipalizzate, per il 35% da produttori di energia, mentre il 40% è in mano, sotto varie forme, a investitori.

Al momento, il potenziale produttivo eolico mondiale è stimato in oltre 100 GW, nella maggior parte installato in Europa, seguita a distanza da Stati Uniti, India e Cina. Le previsioni prevedono un aumento in volumi doppi entro il 2020, distribuito proporzionalmente all'esistente, con una crescita più spiccata da parte degli Stati Uniti e un'enorme diffusione di impianti *off shore* nel Mare del Nord, interconnessi fra loro, a servire Regno Unito, Norvegia, Danimarca e Olanda.

1.4. Mini e microeolico

Gli aerogeneratori si distinguono in classi di diversa potenza, in relazione ad alcune dimensioni caratteristiche, come riportato in tabella 1.1.

Classe	Potenza (kW)	Diametro del rotore (m)	Altezza da terra (m)
Macchine di piccola taglia	≤ 200	1-20	10-30
Macchine di media taglia	> 200-1000	20-50	30-50
Macchine di grande taglia	> 1000	55-80	60-120

Tabella 1.1. Classificazione degli aerogeneratori

Gli aerogeneratori di piccola taglia si possono impiegare per la produzione di elettricità per singole utenze o gruppi di utenze, connesse alla rete elettrica in bassa tensione o anche isolate dalla rete elettrica. Per quanto riguarda invece le macchine di media e grande taglia si usano per lo più per la realizzazione di parchi eolici (*wind farm*) collegati alla rete di media oppure di alta tensione.

Le macchine di piccola taglia, oggetto del presente volume, possono essere così classificate:

- minieoliche per le potenze nominali da 200 a 20 kW;
- microeoliche per le potenze nominali uguali e inferiori a 20 kW;
- picoeoliche per potenze inferiori a 1 kW.

Per le macchine microeoliche non vi è imposizione fiscale, obbligo di registrazione di Officina elettrica e conseguente obbligo di denuncia all'Ufficio Tecnico di Finanza.

Per quanto riguarda la categoria delle picoeoliche, ovvero per potenze inferiori a 1 kW, non è concessa la connessione in rete di distribuzione.

L'impiego di macchine mini e micro è estremamente vario: si va da sistemi autonomi in isola (*stand-alone* o *grid isolated/off*) per alimentare rifugi, baite, ricoveri, barche, pompe per pozzi, villaggi, a micro generazione per alimentare utenze abitative, minindustriali o aziende agricole con scambio in rete; in questo caso le uniche limitazioni sono gli spazi disponibili e quelli economici. Le macchine di mini e microeolico sono le più diffuse su tutti i mercati del mondo per le dimensioni, l'economicità e la duttilità di impiego; sono inoltre facilmente installabili, robuste, utilizzano materiali e parti facilmente reperibili, si prestano a una grande varietà di soluzioni e realizzazioni impiantistiche.

La loro diffusione è così ampia che è impossibile calcolarne il numero esatto in esercizio considerando il vasto numero di costruttori e il fatto che vengono commercializzate sia da grandi distributori sia per corrispondenza, senza contare poi i numerosi modelli autocostruiti.

Il principale mercato mondiale è costituito da Stati Uniti e Canada, con installazioni a partire da 90 W fino alle più grandi, spesso destinate ad alimentare aziende agricole e trascinare pompe per l'acqua. In Europa la maggior parte delle installazioni si trova nel Regno Unito, con una crescita di oltre 3500 unità all'anno. Qui la BWEA (British Wind Energy Association) ha in programma di raggiungere la produzione di 1200 MW entro il 2020 attraverso generatori di taglia mini/micro. In Sud America e in Cina gli aerogeneratori mini/micro rappresentano la principale fonte di energia per le aziende agricole: si contano infatti oltre un milione di unità installate. In Mongolia rappresentano la soluzione di generazione più pratica per le popolazioni nomadi che le utilizzano per alimentare i loro villaggi mobili, tanto da averne in dotazione oltre 250.000 unità per circa 64 MW prodotti. Migliaia di aerogeneratori di taglia pico sono venduti ogni anno in tutto il mon-

do per soddisfare il mercato nautico da diporto e quello del turismo da caravan/campeggio.

Tutti questi impianti si prestano bene per importanti sviluppi legati a gruppi di microgenerazione ibrida, dove il gruppo di generazione è costituito da un insieme di generatori, mossi da fonti di energia eterogenee che possono produrre insieme o alternativamente a seconda della disponibilità e della richiesta: nascono così gruppi eolico/fotovoltaico, eolico/motori a combustione interna policombustibili, eolico/celle combustibili.

2. LA VALUTAZIONE DELL'INVESTIMENTO

2.1. L'approccio

In questi anni notevoli sono stati i cambiamenti all'interno del mercato degli impianti industriali; oggi ogni nuova iniziativa deve essere valutata e verificata nella sua sostenibilità fin dalla fase concettuale e il punto di avvio è la conoscenza del mercato in cui si vuole andare a operare. A tal fine occorre quantomeno effettuare valutazioni relative al quadro normativo/legislativo di riferimento, alle regole che lo gestiscono, alla concorrenza esistente, alle aziende già presenti nel settore nonché alle proiezioni di consumo e di offerta con l'utilizzo di analisi economico/finanziarie e di mercato.

Un'azienda che intenda affrontare una nuova iniziativa deve conoscere le proprie politiche aziendali e sapere quali siano le proprie risorse in modo da proporre al mercato un sistema che le permetta di essere competitiva e assicuri un determinato rientro economico: questo studio si chiama piano industriale o *business plan*. Una volta individuata l'iniziativa, è importante svilupparne il progetto di fattibilità, comprensivo di un preventivo di dettaglio che, una volta approvato dalla proprietà, verrà finanziato autonomamente oppure ricorrendo a finanziamenti esterni e quindi sarà sottoposto a banche e altre sostituzioni che porteranno a termine studi indipendenti sull'investimento, commerciali, economici e di mercato, volti a confermarne la fattibilità economica, quali:

- analisi di ritorno progetto ed *equity*: si valuta la remunerazione dell'impianto in sé e della porzione di *equity* (capitale erogato dai partner finanziari nel progetto);
- analisi di finanziabilità: non più formale, ma sostanziale, conduce al *project financing* (si tratta con le banche per ottenere i finanziamenti della parte di progetto non coperta dall'*equity*).

Raggiunti tutti gli accordi del caso seguirà la fase realizzativa, che comprende le attività di:

- pianificazione per la realizzazione;

- definizione dei requisiti e richieste di offerta a fornitori;
- progettazione;
- ingegnerizzazione di dettaglio;
- approvvigionamento;
- costruzione e avviamento;
- esercizio e manutenzione;
- dismissione.

Tutto ciò è applicabile, nelle debite proporzioni, a sistemi di qualunque dimensione, per iniziative relative a un nuovo impianto o per l'estensione di un impianto esistente o al suo rifacimento.

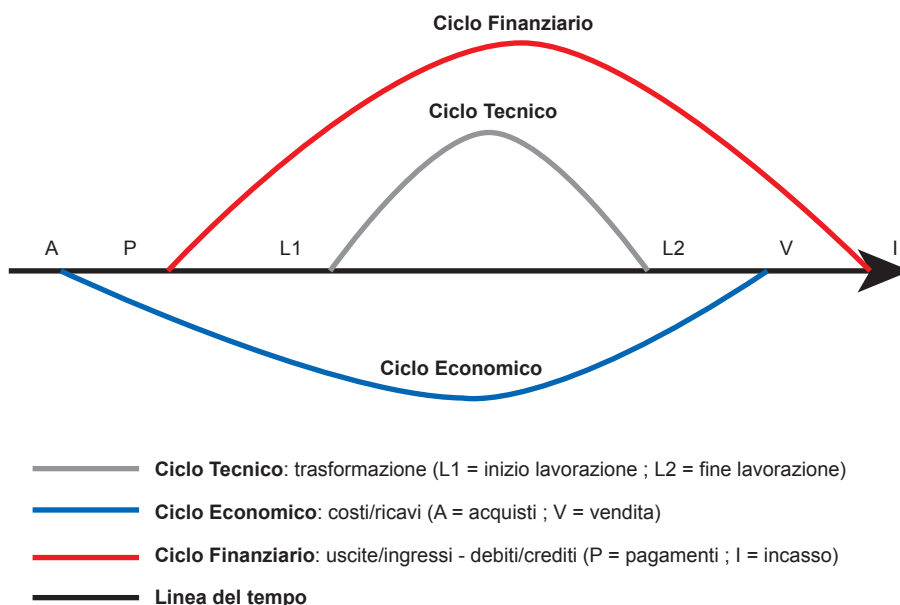


Figura 2.1. Schema semplificato dei cicli di impresa

Il *project financing* o finanza di progetto è un'innovativa tecnica di finanziamento per la realizzazione di iniziative alternative alle tradizionali forme di finanziamento d'impresa (*corporate finance*). Rispetto a queste ultime, ove particolare attenzione viene posta sulle capacità patrimoniali dei suoi promotori, nel *project financing* l'unico asset a protezione degli interessi dei finanziatori è rappresentato dalla validità tecnico-economica e dalla redditività e flussi di cassa del progetto. In quest'ottica, il *project financing* può rappresentare uno straordinario volano per favorire importanti investimenti, senza che gli sponsor del progetto debbano sostenere ingenti oneri finanziari diretti. Tuttavia, proprio per la natura di questa forma di finanziamento e per la centralità dell'elemento "progetto" rispetto alle

tradizionali forme di credito, diviene imperativo per i finanziatori proteggere nella maniera più completa il progetto stesso, mettendolo il più possibile al riparo da possibili eventi che possano compromettere il rispetto del programma di rientro del debito. Appare chiaro come divenga quindi centrale il processo di gestione e trasferimento dei rischi al mercato assicurativo: infatti grazie a quello che viene definito appunto *finanziamento del rischio*, gli effetti di eventi sinistrosi, che non potrebbero essere sopportati nell'ambito del rigido modello finanziario del progetto, divengono oggetto di indennizzo e compensazione.

Nel settore privato, per iniziative medio-piccole, esistono facilitazioni orientate alla crescita imprenditoriale e al relativo indotto occupazionale o più esplicitamente di crescita di business. Sono disponibili inoltre specifiche opportunità per l'imprenditoria femminile.

In ogni caso, l'azienda dovrà poter identificare e valutare i rischi di progetto attraverso una analisi (*due diligence*).

In particolare, per un progetto eolico i principali elementi di criticità sono rappresentati da:

- producibilità elettrica dell'impianto;
- contratto di vendita/cessione dell'energia;
- autorizzazioni e permessi.

Riguardo alla producibilità dell'impianto (rischio produttivo), considerando che il combustibile (il vento) è a costo zero, gli elementi di rischio da analizzare sono l'analisi della ventosità del sito, ovvero la sua disponibilità, e la scelta più opportuna della tecnologia di sfruttamento da impiegare.

Per ciò che attiene la vendita (rischio di mercato), considerato che l'energia eolica è una fonte rinnovabile che il gestore di rete è obbligato a ritirare e a distribuire con priorità, non presenta rischio di vendita, quindi tutto il prodotto viene comunque venduto, i rischi sono piuttosto legati alla variabilità del prezzo di vendita.

Per gli impianti destinati al funzionamento in isola al fine di alimentare utenze isolate dalla rete, queste considerazioni non sussistono in quanto rappresentano necessità imprescindibili da qualunque aspetto speculativo, ma come per gli impianti di taglia pico, inferiori a 1 kW, per i quali non è possibile il collegamento in rete, rientrano in un piano finanziario dove l'energia è ripagata da altre variabili economiche indirette legate all'impiego finale.

Riguardo alle autorizzazioni (rischio termine), per gli impianti di taglia inferiore a 20 kW le richieste sono minime, mentre per le taglie superiori sono da considerare anche i rischi legati a ritardi sulla costruzione e sulla interconnessione, che possono far perdere completamente alcune circostanze finanziarie favorevoli.

È opportuno a questo punto fare qualche considerazione pratica rispetto a un finanziamento.

Non è sufficiente avere a disposizione un capitale, ma bisogna almeno conoscere i meccanismi di base su come gestirlo e sapere a chi rivolgersi. Tutti i progetti

che hanno successo seguono una strategia di investimento progressivo: in questo modo il progetto limita i suoi rischi e induce un comportamento appropriato da parte del soggetto che chiede il prestito e che ha bisogno di finanziamenti complementari e che inoltre riduce i suoi rischi in ragione della sua debole capacità di autonomia; se ricevesse un prestito di ammontare troppo elevato rispetto al suo livello di attività, vedrebbe parte di questo prestito stornata in spese diversamente produttive e avrebbe considerevoli difficoltà a procedere al rimborso.

Spesso questi atteggiamenti inducono a chiedere ulteriori finanziamenti, aggravando la situazione, incluso la possibilità di perdere la proprietà del progetto. Per garantire la sostenibilità dell'investimento in tutto il suo percorso, è importante prevedere all'interno dell'operazione un settore di mobilitazione del risparmio; le modalità concrete di questa relazione possono variare a seconda delle caratteristiche del progetto, ad esempio prevedendo un risparmio preliminare (o apporto personale) o di un risparmio forzato durante il periodo di rimborso.

Il credito è un bisogno strutturale che richiede tempo e, dopotutto, il denaro è un mezzo: quello che si riceve in prestito in realtà è il tempo. È pertanto necessario distinguere fra credito a *breve termine* e credito a *medio termine*, aventi due obiettivi differenti e che generano effetti differenti.

Il credito a breve termine, infatti, permette di finanziare i bisogni in fondi di rotazione di imprese esistenti. Tale tipologia di credito termina rapidamente (da 6 a 18 mesi), favorendo quelli a brevissimo termine (meno di 6 mesi), che consentono di far girare il fondo di credito diverse volte nel corso dello stesso anno. Questo tipo di credito non comportano modifiche nel sistema di produzione e di commercializzazione di colui che chiede il prestito e non necessita pertanto di interventi specifici complementari. Appare chiaro che tali progetti sono dunque poco dispendiosi dal punto di vista delle spese operative e permettono a imprese esistenti di funzionare con migliori risultati e di trarre maggiore profitto, senza però modificare la loro struttura. Dal momento che questi prestiti presentano rischi minimi per le banche, generalmente minime sono anche le garanzie richieste. I crediti a medio termine solitamente finanziano l'apertura di una nuova impresa o l'acquisizione di nuove attrezzature (e sono generalmente completati da un fondo di rotazione appropriato). Questo implica che colui che chiede un prestito esce dalla sua area tradizionale tanto in termini di tecniche di produzione quanto in termini di mercato. Il rimborso di tale credito avviene a medio termine (da 2 a 7 anni) e dipende quindi da fattori esogeni difficilmente valutabili che aumentano gli oneri e il rischio legato a queste operazioni. A garanzia dell'operazione si possono utilizzare formule tipo *leasing* (l'attrezzatura fornita non diventa di proprietà di colui che ha preso in prestito finché non ha rimborsato interamente il credito), completato da garanzie personali o reali fornite da colui che ha preso il prestito: in questo caso è anche possibile coinvolgere i fornitori come partner tecnologici. Da quanto appena detto consegue la considerazione per cui il credito a medio termine presenta vantaggi non trascurabili in un'ottica di sviluppo, ad

esempio permette di accrescere la capacità produttiva e le dimensioni dell'azienda e consente di stipulare accordi con altre imprese.

Se non si è vincolati in risposta a uno specifico bando promosso dalle istituzioni bisognerà effettuare la scelta più cruciale e delicata, quella dell'operatore. Va osservato che le banche, generalmente, sono scarsamente propense al rischio ed esprimono spesso preoccupazioni sulle iniziative proposte perché, in caso di insuccesso, questo si potrà ripercuotere sull'immagine della banca, anche se questa non corre alcun rischio finanziario. Per quanto riguarda progetti di taglio medio-grandi, esistono operatori più specializzati, quali finanziarie e banche d'affari. Nella maggior parte dei casi, di norma, è meglio rivolgersi a una banca vicina all'impresa, presente da tempo e radicata nel territorio, che conosca a fondo rischi e limiti dell'area in termini di sviluppo economico e sociale.

Non bisogna dimenticare che si è clienti della banca e quindi, come in qualsiasi altro business, è opportuno valutare più di un operatore e confrontare le diverse condizioni di vendita per trovare quella più consona.

2.2. La producibilità elettrica

Un impianto eolico è alimentato da una fonte di energia rinnovabile, considerata intermittente, quale il vento, che varia in funzione degli eventi meteorologici. Questa fonte di energia non può essere impiegata a discrezione, ma solo quando è effettivamente disponibile, pertanto la producibilità di un impianto eolico è legata alla disponibilità del vento, espressa in funzione della distribuzione di frequenza e della durata della velocità del vento. Non è pertanto sufficiente conoscere la velocità media del vento in un sito per stimare la quantità di energia elettrica; occorre invece conoscere l'intera distribuzione del vento nel tempo.

Il calcolo della producibilità può essere espresso nella funzione integrale:

$$E = T \int P(v) f(v) dv$$

dove

E = energia prodotta in un anno

l'integrale va da 0 alla velocità di *cut off* (oltre la quale non c'è più generazione)

T = numero di ore in un anno, cioè $24 \cdot 365 = 8760$

$P(v)$ = potenza prodotta come da caratteristiche del costruttore dell'aerogeneratore

$f(v)$ = distribuzione della frequenza della velocità del vento nel sito di installazione

dv = differenziale della variabile di integrazione.

L'energia è espressa in kWh.

La curva di potenza dell'aerogeneratore dovrà essere corretta in funzione della densità dell'aria che dipende dalle caratteristiche altimetriche e dalla temperatura del sito di installazione.

La distribuzione della frequenza di velocità misurata o, meglio, riferita all'altezza del mozzo del rotore dell'aerogeneratore è calcolata solitamente applicando la teoria della distribuzione elaborata dal matematico e inventore svedese Wallodi Weibull.

Per i campi eolici (*wind farm*) devono essere inseriti fattori correttivi aggiuntivi che considerano gli effetti scia e interferenza tra un aerogeneratore e l'altro.

L'accuratezza della stima della producibilità elettrica dipende dalla qualità dei dati caratteristici dell'aerogeneratore e anche dalla quantità di dati disponibili riguardo alla ventosità del sito.

In generale, si considera conveniente un luogo con velocità del vento minima non inferiore a 4 m/s e ore equivalenti alla potenza nominale di 1600 ore/anno.

In ogni caso, è opportuno specificare che il valore di producibilità ottenuto è da considerarsi ancora ideale e per ottenere quello probabilmente più reale vanno sottratti le seguenti ulteriori componenti:

- efficienza impianto/componenti elettrici (media 3,0%);
- disponibilità di impianto (stima 3,0%);
- sporcamento e ghiaccio sulle pale (stima 1,0%);
- interferenza da altri ostacoli (stima 0,2%);
- isteresi del vento sovrastante (stima 0,4%).

Nelle tabelle 2.1-2.3 si riportano i casi ritenuti commercialmente più interessanti con taglie da 1 kW, 3 kW e 20 kW, utili per le analisi di producibilità preliminari da aggiornarsi in funzione di offerte di costruttori di componenti e servizi a cui sono già state detratti perdite e indisponibilità, installati a 10 metri da terra tranne per l'aerogeneratore da 20 kW supposto installato a 18 metri. Le tabelle, anche se riferite ad aerogeneratori generici, costituiscono un buon esempio della differenza di prestazioni dello stesso impianto ubicato in terreni, altitudini e condizioni di lavoro diverse.

1 kW	Montagna – Alpi (venti molto variabili)			Collina (venti variabili)			Aperta campagna (venti abbastanza regolari)			Litorale (venti regolari)			Isole (venti molto regolari)		
	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	6	8	4	6	8
Altitudine (m)	1.000			250			100			0			0		
Venti medi (m/s)	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	6	8	4	6	8
Produzione annua (kWh)	274	537	903	241	475	820	221	436	755	212	721	1701	206	699	1657

Tabella 2.1. Previsione producibilità taglia 1 kW