

Capitolo 21

Il vento è una delle principali fonti rinnovabili di energia ed è una conseguenza diretta dell'energia solare, il quale riscalda la superficie del nostro pianeta, che a sua volta riemette calore nell'atmosfera in modo non uniforme: nelle zone dove viene rilasciato meno calore tende ad aumentare la pressione, nelle zone più calde la pressione tende a ridursi. L'aria delle zone ad alta pressione tende a spostarsi verso quelle a bassa pressione, generando il *vento* che viene sfruttato dagli **aerogeneratori** (ad **asse verticale** o ad **asse orizzontale**): il movimento di rotazione delle pale viene trasmesso a un generatore che produce elettricità. La velocità del vento dipende dai parametri atmosferici e dalla conformazione del terreno (è maggiore nelle superfici piane, lungo le coste e in mare aperto). Il vento per essere sfruttato negli impianti eolici deve essere costante (come i venti del Mare del Nord).

I **componenti dell'aerogeneratore** (figura A) sono:

- **la torre di sostegno:** struttura che sostiene il rotore e la navicella ed è ancorata al terreno mediante fondamenta in cemento armato;
- **il rotore:** mozzo centrale su cui sono montate le pale in posizione fissa o variabile (meccanismo di pitch). Le pale hanno un profilo alare, sono realizzate in alluminio, in fibra di vetro o di carbonio. I rotori più usati sono con tre pale perché hanno il miglior rapporto costi/potenza sviluppata;
- **la navicella:** cabina posizionata sulla cima della torre che può girare di 180° sul proprio asse (per allinearsi alla direzione del vento). Negli aerogeneratori di media e grossa taglia l'allineamento è garantito da un servomeccanismo (sistema di imbardata) un cui la banderuola, indica lo scostamento.

Al suo interno troviamo

- **moltiplicatore di giri:** trasforma la rotazione delle pale da lenta in veloce per far funzionare il generatore di elettricità. Vi sono alternatori con elevato numero di coppie polari e ciò ha reso possibile la costruzione di aerogeneratori privi di moltiplicatore di giri (con vantaggi per la manutenzione, l'efficienza e l'affidabilità);
- **sistema frenante:** freni (uno aerodinamico ed uno meccanico) che bloccano il rotore in caso di manutenzione, messa in sicurezza, guasto, vento troppo debole o troppo forte;
- **generatore:** organo elettromeccanico che trasforma l'energia meccanica in elettrica;
- **sistema di controllo:** svolge due funzioni:
 - aziona il dispositivo di sicurezza che blocca il funzionamento dell'aerogeneratore;
 - tramite il segnale di anemometri e indicatori di direzione del vento, si occupa di variare l'angolo di yaw (angolo di cui la navicella deve ruotare sul proprio asse verticale per allinearsi al vento) e l'angolo di pitch (angolo che assume la pala rispetto al piano di rotazione del rotore).

Gli aerogeneratori sono macchine che trovano una loro corrispondenza nelle turbine idrauliche a elica e per questo vengono chiamate spesso turbine eoliche.

L'**impatto ambientale** è legato a:

- **impatto visivo:** un aerogeneratore da 1500 kW di potenza ha un diametro del rotore di circa 60 m; l'impatto si può ridurre con forme e colori idonei;
- **inquinamento acustico:** una distanza di poche cen-

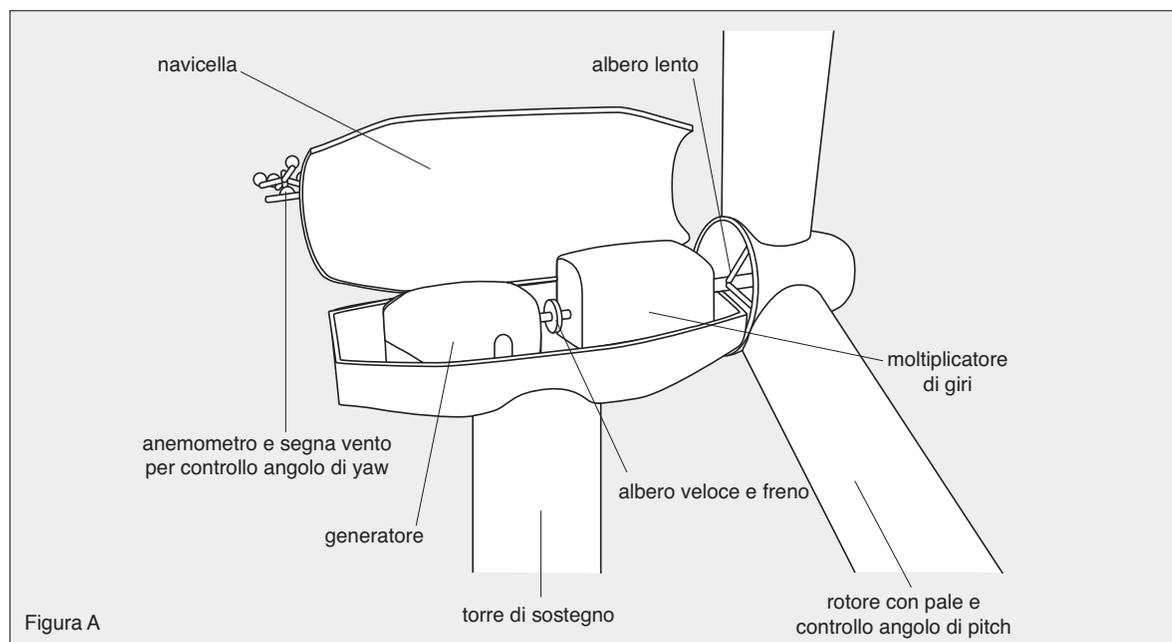


Figura A

tinaia di metri riduce il disturbo sonoro;

- effetti su flora e fauna: l'impatto dei volatili con il rotore delle macchine è molto contenuta.

La **potenza utile di un aerogeneratore** è

$$P_u = C_p \cdot \frac{\rho \cdot A \cdot V^3}{2}$$

dove ρ è la densità dell'aria, A è l'area sottesa dal rotore, V la velocità del vento e C_p il coefficiente di potenza. Secondo la legge di Betz la potenza massima utilizzabile dal rotore è pari al 59,3% di quella teorica messa a disposizione dal vento.

L'energia **geotermica** è una forma di energia dovuta al calore che si trova all'interno della crosta terrestre e il suo sfruttamento consiste nell'utilizzare il calore contenuto in rocce relativamente vicine alla superficie tramite la **geotermia**. Per giungere in superficie il calore ha bisogno di un vettore fluido (acqua o vapore): si immette acqua fredda in profondità e dal sottosuolo si ricava vapore, che convogliato verso apposite turbine a vapore produce **energia elettrica** o incanalato in un sistema di tubature e utilizzato per attività locali di **telerriscaldamento**. Se il fluido è costituito da:

- **vapore dominante** è possibile inviarlo direttamente alle turbine collegate con un generatore elettrico; negli altri casi è necessario un separatore di vapore;
- **acqua dominante** (a temperatura minore di 180 °C), è indicato per un impianto a **ciclo binario**, nel quale i fluidi estratti vengono fatti dapprima passare attraverso uno scambiatore, dove cedono calore a un fluido secondario a basso punto di ebollizione che viene quindi portato allo stato di vapore.

L'aggiunta di un condensatore consente in entrambi i sistemi di migliorare l'efficienza delle turbine. Il vantaggio rappresentato dalle centrali geotermiche è che vengono esercitate 24 ore al giorno.

Di recente si sta sviluppando un settore dell'architettura specializzato nella **mini geotermia** in cui si utilizzano sonde nel sottosuolo delle abitazioni (con profondità dai 5 metri fino ai 100 metri) per sfruttare il naturale calore del terreno.

Lo sfruttamento dell'**energia del moto ondoso** presenta problemi non ancora risolti, soprattutto per la sua irregolarità (il moto ondoso è causato dal vento che soffia sulla superficie del mare).

L'**energia delle correnti** marine sono sfruttabili con turbine simili a quelle eoliche: a parità di potenza generata possono essere molto più piccole, essendo l'acqua molto più densa dell'aria; possono essere ad asse orizzontale (per correnti marine costanti) o ad asse verticale (per correnti di marea). Le pale dei rotori sono dotate di un sistema di controllo dell'angolo di calettamento (pitch); è possibile far risalire in superficie il corpo centrale del sistema (a cui sono agganciate le pale) per la manutenzione.

Per sfruttare l'**energia delle maree** bisogna sbarrare

un bacino o l'estuario di un fiume con una diga artificiale. La diga trattiene l'acqua nel bacino al livello dell'alta marea, e la lascia uscire in mare quando c'è bassa marea, azionando una turbina che produce energia elettrica.

L'**energia del gradiente termico tra la superficie e il fondo del mare** può essere sfruttata quando la differenza di temperatura tra l'acqua in superficie e l'acqua in profondità raggiunge valori sfruttabili (superiori ai 20 °C). I possibili approcci sono due:

- **ciclo chiuso**: utilizza come fluido intermedio un liquido a basso punto di ebollizione, quale propano (-42 °C) o ammoniaca (-33 °C). Questo liquido viene pompato nell'acqua calda del mare, dove vaporizza ed aziona una turbina, collegata a un generatore che produce elettricità. L'acqua fredda del mare, prelevata in profondità, attraversa un condensatore riportando il vapore allo stato di liquido, che torna in circolo;
- **ciclo aperto**: non utilizza un fluido intermedio, ma direttamente l'acqua calda del mare, facendola evaporare sotto vuoto (per esempio un'acqua a 32 °C evapora a 0,05 bar assoluti); questo vapore aziona una turbina a bassa pressione, producendo energia elettrica. Quindi il vapore viene raffreddato (con l'acqua fredda dell'oceano prelevata in profondità) producendo anche acqua desalinizzata, utilizzabile per l'agricoltura o come acqua potabile.

Con il termine **biomasse** si intende un insieme di materiali d'origine vegetale (legname da ardere, tutti i residui agricolo-forestali, gli scarti dell'industria agroalimentare, reflui degli allevamenti, specie vegetali appositamente coltivate per questo scopo), utilizzati in apposite centrali termiche per produrre energia elettrica. Quindi si ricava energia elettrica e si eliminano gli scarti prodotti dalle attività agroforestali. Qualsiasi combustione del legno provoca l'emissione di CO₂ ma ciò è compensato dalla **riforestazione** che aumenta la **capacità di assorbimento naturale** dell'anidride carbonica rilasciata in atmosfera. Un problema delle biomasse è dovuto al fatto che sono molto voluminose e il trasporto fino in centrale può richiedere l'utilizzo intensivo di mezzi di trasporto (inquinanti).

I **biocarburanti** sono prodotti agricoli in grado di sostituire la benzina e il diesel e sono:

- il **biodiesel**: carburante ottenuto dagli oli vegetali di soia, di colza e di girasoli; può essere utilizzato sia come sostituto del gasolio sia miscelato per ottenere un combustibile alternativo senza richiedere modifiche ai motori. È un olio vegetale privo di glicerina a cui viene aggiunto il metanolo. Ha il vantaggio di essere completamente biodegradabile nell'ambiente, rappresentando un'alternativa *pulita* ai carburanti tradizionali;
- il **bioetanolo**: è un alcol ottenuto tramite il processo di fermentazione dei prodotti agricoli ricchi di car-

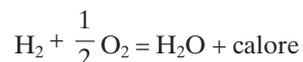
boidrati e zuccheri quali cereali, canna da zucchero e barbabietole. **Può essere utilizzato come biocarburante al posto della benzina.**

Un **termovalorizzatore** è di fatto un **inceneritore di rifiuti** in grado di sfruttare il contenuto calorico dei rifiuti stessi per generare calore, riscaldare acqua e **produrre energia** elettrica; può essere una via di uscita dal **problema delle discariche** però non elimina l'**emissione di diossine** (tossica e cancerogena). La sequenza delle varie fasi di un termovalorizzatore per la produzione di energia elettrica è: **arrivo dei rifiuti, combustione** mantenuta viva da una **corrente d'aria** forzata, estrazione delle scorie, **produzione del vapore** e di **energia elettrica** tramite una turbina collegata a un alternatore, **trattamento dei fumi** che permette l'abbattimento delle sostanze inquinanti.

In futuro, la tecnica che trasformerà la maggior parte dei rifiuti in energia termica ed elettrica, con un im-

patto ambientale minimo, e che sostituirà gli inceneritori, si chiama **pirolisi** (processo endotermico di degradazione termica in assenza di ossigeno che provoca la dissociazione molecolare dei rifiuti tra **400 e 800 °C** (contro 1300 °C degli inceneritori), non produce diossine ma olio di pirolisi e syngas (ha un potere calorifico pari al GPL). Può operare con o senza la raccolta differenziata, ma anche senza, potrà trattare la frazione umida insieme con la frazione secca del rifiuto.

L'**idrogeno** è un combustibile che non provoca effetto serra perché brucia tramite la reazione:



L'introduzione dell'idrogeno come combustibile richiede che siano messe a punto le tecnologie necessarie per la sua produzione, il trasporto, l'accumulo e l'utilizzo.