



**APAT**

Agenzia per la protezione  
dell'ambiente e per i servizi tecnici

# I Quaderni della Formazione Ambientale

---

**Energia e radiazioni**

---

**APAT** - Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici  
Via Vitaliano Brancati, 48 - 00144 Roma  
[www.apat.it](http://www.apat.it)

**Servizio Educazione e Formazione Ambientale**

[www.apat.gov.it](http://www.apat.gov.it)  
educazione@apat.it; formazione@apat.it

**ISBN:** 88-448-0200-7

**A cura di**

Dr. ssa Teresa Cinti

**Coordinamento**

Ing. Gaetano Battistella

**Coordinamento dei testi**

Dott.ssa Stefania Calicchia

Collaborazione: Dr.ssa Teresa Cinti - Arch. Ruggero Palma

Riproduzione autorizzata citando la fonte

*Grafica di copertina* Franco Iozzoli

**Coordinamento tipografico e distribuzione**

Olimpia Girolamo

APAT - Servizio Stampa ed Editoria

Ufficio Pubblicazioni

**Impaginazione e stampa**

I.G.E.R. srl - Viale C.T. Odescalchi, 67/A - 00147 Roma

Stampato su carta TCF

Finito di stampare maggio 2006

---

---

## INDICE

	<i>pag.</i>
<b>Premessa</b> .....	7
<b>1. Introduzione</b> .....	8
<b>2. Il ciclo dell'energia</b> .....	9
<b>3. Le diverse forme dell'energia</b> .....	10
<b>4. Le fonti di energia</b> .....	12
<b>5. Le energie rinnovabili</b> .....	13
<b>5.1. L'energia solare.</b> .....	13
<b>5.1.1. Solare termico.</b> .....	13
5.1.1.1. Applicazioni a bassa temperatura .....	14
5.1.1.2. Applicazioni a media temperatura. ....	15
5.1.1.3. Applicazioni ad alta temperatura (Centrale solare) .....	15
5.1.1.4. Rapporto con l'ambiente e vantaggi .....	16
<b>5.1.2. Solare fotovoltaico</b> .....	16
5.1.2.1. Applicazioni del solare fotovoltaico .....	18
5.1.2.2. Rapporto con l'ambiente e vantaggi .....	19
<b>5.2. L'energia eolica.</b> .....	20
5.2.1. I sistemi eolici: la produzione di energia .....	20
5.2.2. Principali elementi di un aerogeneratore .....	21
5.2.3. Applicazioni dell'energia eolica .....	23
5.2.4. L'analisi del sito .....	24
5.2.5. Le Fattorie del vento e l'ambiente .....	24
<b>5.3. L'energia idrica</b> .....	25
5.3.1. Impianti idroelettrici .....	26
5.3.2. Rapporto con l'ambiente. ....	27
<b>5.4. L'energia geotermica.</b> .....	28
5.4.1. I sistemi geotermici. ....	28
5.4.2. Produzione di energia elettrica (fluidi vettori ad alta entalpia) .....	30
5.4.3. Applicazioni termiche dirette (fluidi vettori a bassa entalpia) .....	30
5.4.4. I sistemi geotermici e l'ambiente .....	32
<b>5.5. Energia dalle biomasse</b> .....	33
<b>5.6. Energia dai rifiuti</b> .....	35
<b>6. Le energie non rinnovabili (o convenzionali)</b> .....	38
<b>6.1. Il petrolio.</b> .....	38
6.1.1. Impatti ambientali del petrolio .....	39
<b>6.2. Il gas naturale</b> .....	40
6.2.1. Impatti ambientali del gas naturale .....	41
<b>6.3. Il carbone</b> .....	40
6.3.1. Impatti ambientali del carbone .....	42
<b>6.4. L'energia nucleare.</b> .....	43
6.4.1. Le centrali a fissione e l'ambiente .....	44
6.4.2. Il futuro dell'energia nucleare – la fusione .....	45

---

7. L'idrogeno come nuova energia pulita . . . . .	46
8. L'uso razionale dell'energia – il risparmio energetico domestico . . . . .	48
9. Radiazioni . . . . .	49
9.1. Radiazioni ionizzanti . . . . .	49
9.2. Radiazioni non ionizzanti . . . . .	50
Questionario di autovalutazione . . . . .	52
Riferimenti Normativi. . . . .	55
Dati tecnico scientifici di riferimento . . . . .	58
Bibliografia e siti web. . . . .	63

---

## PREMESSA

Il presente *booklet* fa parte della raccolta intitolata “Quaderni della Formazione Ambientale”, composta da 8 documenti tematici sugli elementi tecnico scientifici di base per la formazione e l’educazione ambientale.

I Quaderni sono divisi in 2 gruppi, relativi a:

- le matrici ambientali, e cioè Acqua, Aria, Natura e Biodiversità, Suolo;
- i fenomeni di antropizzazione, e cioè Cultura Ambientale e Sviluppo Sostenibile, Demografia ed Economia, Energia e Radiazioni, Rifiuti.

L’opera, che si ricollega alle precedenti “Schede Tematiche di Educazione Ambientale” e ne approfondisce i contenuti, si propone come uno strumento di agevole consultazione sia da parte del docente / educatore che dell’allievo, per un supporto alla divulgazione sul tema della protezione dell’ambiente.

I testi riportati negli 8 Quaderni sono accompagnati da grafici, tabelle ed esempi esplicativi, per agevolare la trattazione, la lettura e lo studio e per cercare di presentare in forma agevole una serie di conoscenze tecnico scientifiche anche complesse e di non facile sintesi.

D’altronde, la protezione dell’ambiente è innanzitutto un problema tecnico scientifico, e progettare strumenti per la divulgazione ambientale di supporto ad iniziative di educazione e formazione ambientale non può prescindere da una impostazione il più possibile pianificata, schematica e rigorosa. Questo spiega perché la struttura dei Quaderni stessi è organizzata in maniera analoga, con una parte espositiva, una parte di riferimenti alla normativa e ai dati tecnico scientifici, e una parte di autovalutazione.

La sistematizzazione di una parte delle attuali conoscenze di base su diverse tematiche ambientali permette così di avviare iniziative di educazione e/o di formazione, basate su una corretta comprensione dei fenomeni ambientali, e di favorire una migliore partecipazione degli individui alla soluzione dei piccoli e grandi problemi quotidiani che riguardano l’ambiente, e quindi anche noi stessi.

Non può essere tralasciata anche una breve considerazione sulla utilità possibile di una simile raccolta, che può supportare – tale ne è perlomeno l’intendimento – una maggiore diffusione delle conoscenze a tutti i livelli di età (bambini, giovani, adulti, anziani) e in diversi ambiti di apprendimento (scuole, laboratori, associazioni, ecc.) per dare un riferimento omogeneo e scientificamente fondato alle future azioni di educazione e formazione ambientale, perlomeno a livello di conoscenze di base.

È noto, infatti, dalle statistiche disponibili, che una delle priorità dell’educazione per lo sviluppo sostenibile è quella di migliorare, attraverso la formazione, la preparazione di milioni di docenti ed educatori nel mondo, e d’altro canto la formazione è una leva fondamentale per l’avvio nel mondo del lavoro di esperti nelle nuove professioni legate alla protezione dell’ambiente.

Si auspica che in questo documento dell’APAT possano quindi trovare uno strumento valido di lavoro quanti vogliono dotarsi di un supporto tecnico scientifico e di riferimento istituzionale alle proprie attività di formazione e di educazione ambientale.

---

## 1. INTRODUZIONE

L'Energia è la capacità di un sistema di compiere un lavoro nel tempo, dove il lavoro compiuto è il risultato dell'applicazione di una forza per uno spostamento. Tutti i fenomeni che accadono intorno



a noi comportano trasformazioni di energia: per esempio, l'energia elettrica si può trasformare in energia termica e luminosa percorrendo il filamento di una lampadina.

Anche nella fotosintesi clorofilliana le piante trasformano l'energia luminosa del sole in energia chimica contenuta nelle sostanze prodotte e che è quella dei legami chimici che tengono uniti gli atomi delle molecole.

L'energia inoltre è indispensabile in tutti i campi delle attività dell'uomo per la produzione e distribuzione dei beni di consumo, l'illuminazione ed il riscaldamento, i trasporti e le comunicazioni e si ottiene attraverso processi di produzione energetica diversi.

Tali processi hanno un forte impatto ambientale, sia perché sono basati sullo sfruttamento delle risorse naturali come fonti energetiche, sia per l'emissione di gas inquinanti e per la eventuale generazione di Radiazioni (ionizzanti e non ionizzanti), le quali hanno effetti nocivi sia per l'ambiente che per la salute dell'uomo.

---

## 2. IL CICLO DELL'ENERGIA

Il ciclo dell'energia è il percorso che questa segue dalla sua disponibilità naturale fino alla sua utilizzazione. Durante questo cammino l'energia subisce trasformazioni ed elaborazioni per assumere una forma adatta all'uso finale. Tale ciclo è graficamente sintetizzato nel seguente schema:

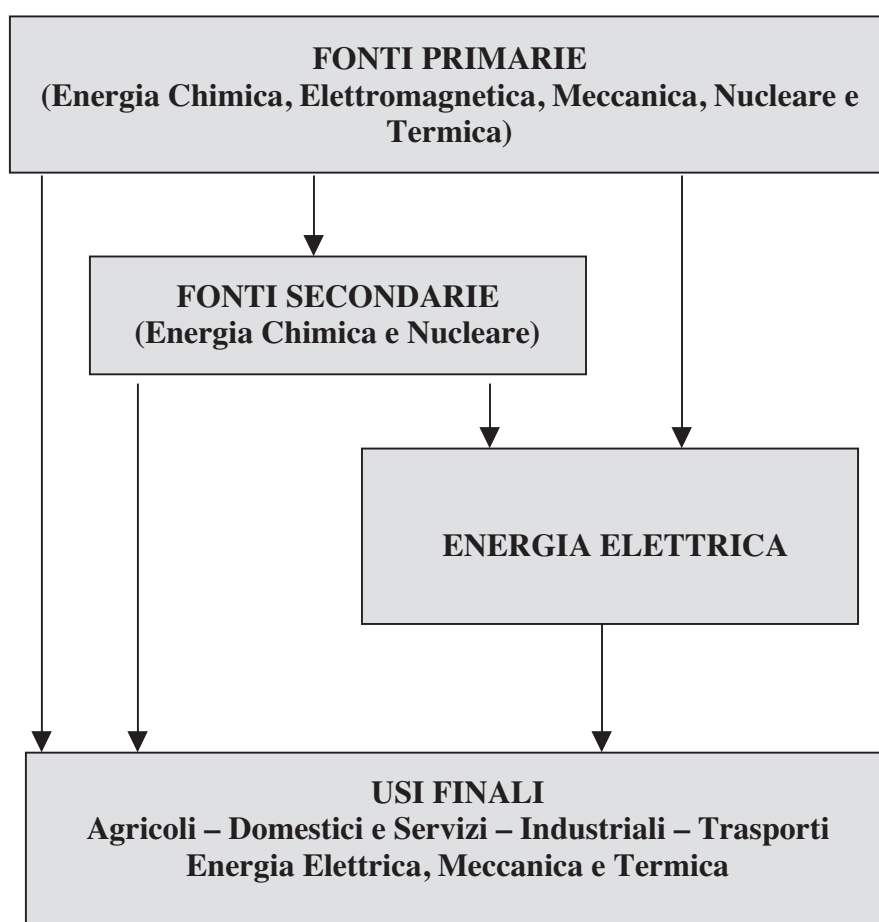


Figura 1. Ciclo dell'energia

Seguendo le indicazioni delle frecce, si possono ricostruire i percorsi possibili dei cicli dell'energia fino agli usi finali che sono suddivisi in agricoli, domestici e servizi, industriali trasporti. Fra questi quelli agricoli hanno una scarsa rilevanza.

---

### 3. LE DIVERSE FORME DI ENERGIA

L'energia presente in natura e di cui l'uomo può disporre si distingue in un certo numero di forme eterogenee. In base alle caratteristiche e all'attitudine di ciascuna forma, l'energia può essere convertita in lavoro utile da destinare ad un particolare uso finale ed è possibile scegliere, di volta in volta, la fonte energetica più conveniente in quella specifica circostanza. Le diverse forme in cui l'energia si presenta si possono distinguere in: chimica, elettrica, elettromagnetica, meccanica (cinetica e potenziale), nucleare, termica.

#### *Energia chimica*

È la forma insita nelle forze di legame presenti in particolari sostanze a livello molecolare ed atomico. Può essere definita di tipo *potenziale*, cioè che può estrinsecarsi attraverso opportune reazioni sotto forma di energia termica oppure *elettrica*. L'energia chimica prevalentemente utilizzata è quella posseduta dai combustibili fossili come petrolio, gas e carbone.

#### *Energia elettrica*

Questa forma di energia è caratterizzata dal movimento di elettroni liberi nei conduttori, soprattutto nei metalli. In realtà sarebbe improprio parlare di energia elettrica perché insieme al campo elettrico è sempre presente un campo magnetico e, quindi, si dovrebbe parlare più propriamente di "energia elettromagnetica". Tuttavia questa distinzione è comoda per definire il tipo di energia che normalmente viene utilizzata solo per le sue caratteristiche elettriche. Poiché l'energia elettrica disponibile in natura, come quella che deriva dai fulmini, non è direttamente sfruttabile, è necessario produrre elettricità in modo artificiale, convertendo in energia elettrica altre forme disponibili in natura.

#### *Energia elettromagnetica*

Questa è legata all'interazione tra un campo elettrico ed uno magnetico, ed è l'unico tipo di energia che si trasmette senza il supporto di alcun mezzo fisico quindi anche nel vuoto dove è praticamente assente ogni fenomeno di dissipazione. In natura è presente soprattutto nella radiazione solare.

#### *Energia meccanica*

La sua disponibilità in natura è di due tipi. Il primo è definito con il termine *potenziale e di pressione* e deriva dal campo di attrazione gravitazionale che agisce sulla terra. Questa energia è posseduta anche da corpi in quiete e dipende dalla posizione, o "quota" occupata, da ogni corpo nel campo terrestre. La seconda si definisce *cinetica* ed è legata al movimento dei corpi solidi, liquidi e aeriformi. Ad esempio, nel caso del vento si parlerà di energia eolica mentre per l'acqua dei fiumi di energia idraulica e per il mare di energia del moto ondoso.

#### *Energia nucleare*

Questa energia è chiamata anche atomica, ed è dovuta alle forze di coesione presenti a livello del nucleo degli atomi. In natura viene liberata spontaneamente da elementi generalmente di grande massa atomica, detti radioisotopi, che emettono radiazioni e/o particelle (radioattività naturale).



---

*Energia termica*

È l'energia contenuta in ogni corpo per il solo fatto di essere ad una temperatura superiore allo zero assoluto. Dal punto di vista microscopico è dovuta all'energia (cinetica e potenziale) legata allo stato di moto presente nella materia a livello molecolare, atomico e subatomico ed in questo senso questa forma potrebbe essere un sottoinsieme delle precedenti.

---

## 4. LE FONTI DI ENERGIA

Le fonti energetiche esistenti possono essere classificate in diversi modi: primarie e secondarie, rinnovabili e non rinnovabili.

Si definiscono *fonti primarie* di energia quelle utilizzabili direttamente, così come si trovano in natura.

Sono fonti primarie il carbone, il petrolio, il gas naturale, il legno, i combustibili nucleari, il sole, il vento, le maree, i laghi montani e i fiumi (da cui è possibile ottenere energia idroelettrica) e il calore della Terra che fornisce energia geotermica. Tali fonti primarie fanno riferimento a precise trasformazioni della materia che possono essere: termochimiche, per i processi di combustione dei derivati del carbonio (idrocarburi); termonucleari, per i processi di reazione nucleare innescabili tra elementi radioattivi; termomeccaniche, per i processi naturali come la disponibilità di vento, sole, maree, calore.



Figura 2. Piattaforma petrolifera in mare aperto

Le *fonti secondarie* sono quelle che derivano dalla trasformazione di fonti d'energia primaria: ad esempio l'energia elettrica ottenuta dalla conversione di energia meccanica (centrali idroelettriche, eoliche) o chimica (centrali termoelettriche) o nucleare (centrali nucleari) e che viene prodotta attraverso le centrali elettriche, appositi impianti in grado di convertire energia primaria (cioè non trasformata) in energia elettrica.

Le *energie rinnovabili* sono quelle che forniscono energia che si rigenera in continuazione mediante trasformazioni chimiche (come la biomassa, materia organica di origine animale e vegetale) o fisiche (come l'energia idrica, solare, eolica, ecc). In particolare il sole, il vento, il ciclo dell'acqua, le maree, il calore della Terra sono fonti sempre disponibili in natura in grande quantità per cui possono considerarsi praticamente illimitate.

La biomassa, invece, è in grado di rigenerarsi in tempi confrontabili con quelli della vita dell'uomo come nel caso del legno che è possibile avere sempre a disposizione come combustibile consumandone e riforestando laddove sono stati abbattuti gli alberi.

Infine, le *energie non rinnovabili* sono quelle che si sono formate nel corso di milioni di anni, come i combustibili fossili (petrolio, carbone, gas naturale) o al momento della formazione del nostro pianeta, come l'uranio e hanno tempi di rigenerazione talmente lunghi (milioni di anni) che una volta sfruttate possono considerarsi esaurite. La disponibilità di queste fonti, per quanto grande, è limitata ed esse costituiscono una sorta di magazzino energetico della Terra. Attualmente, solo il 14% dell'energia consumata nel mondo è prodotta da fonti rinnovabili mentre tutto il resto deriva da fonti non rinnovabili, perlopiù da combustibili fossili (78%).

## 5. LE ENERGIE RINNOVABILI

### 5.1. L'energia solare

È quella che proviene dal sole (Fig. 3) e che è trasmessa alla terra sotto forma di radiazioni elettromagnetiche. Essa è fondamentale per la maggior parte dei processi vitali e dei fenomeni fisici: fotosintesi, ciclo dell'acqua, formazione di venti, biomasse, combustibili fossili, ecc.

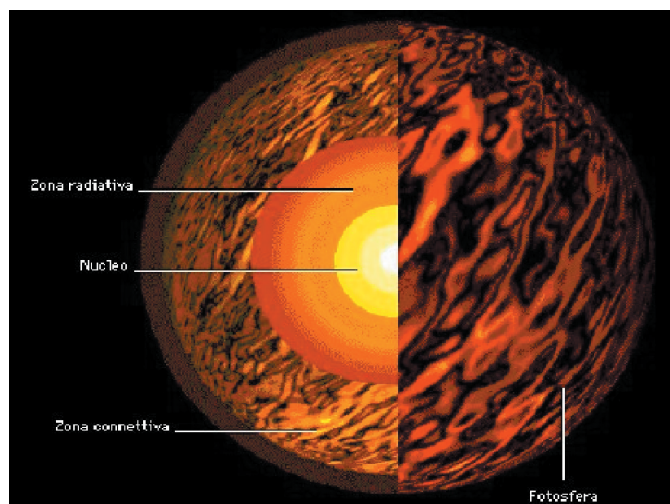


Figura 3. Il sole

L'intensità dell'irraggiamento solare si attenua nel passaggio attraverso l'atmosfera: una parte di radiazione viene riflessa verso lo spazio, una parte è diffusa in tutte le direzioni dalle molecole dei gas atmosferici e dal vapore acqueo, una parte viene assorbita dalle molecole dell'atmosfera e da queste immessa come radiazione infrarossa. La parte di irraggiamento che raggiunge direttamente il suolo costituisce la radiazione diretta mentre la parte rimanente costituisce la radiazione diffusa (Fig. 4). I dispositivi che consentono di ricavare direttamente energia dal sole sono di diverso tipo:

- i pannelli solari termici (*solare termico*), sono utilizzati per raccogliere calore a bassa temperatura per usi domestici ed industriali
- i pannelli fotovoltaici (*solare fotovoltaico*), assorbono e trasformano le radiazioni solari direttamente in energia elettrica.

#### 5.1.1. Solare termico

L'effetto termico del Sole è noto a tutti ed è infatti individuabile in modo diretto durante l'esposizione ai suoi raggi. Gli impianti solari termici utilizzano proprio l'effetto termico del sole come fonte primaria di energia, permettendone l'impiego per vari scopi. La tecnologia a riguardo cerca di trarne i benefici tentando di massimizzare l'effetto e rendere più efficienti i vari sistemi. Nel solare termico, la radiazione solare viene captata da un "collettore solare" e trasferita sotto forma di energia termica ad un fluido vettore<sup>1</sup>, il quale può essere utiliz-

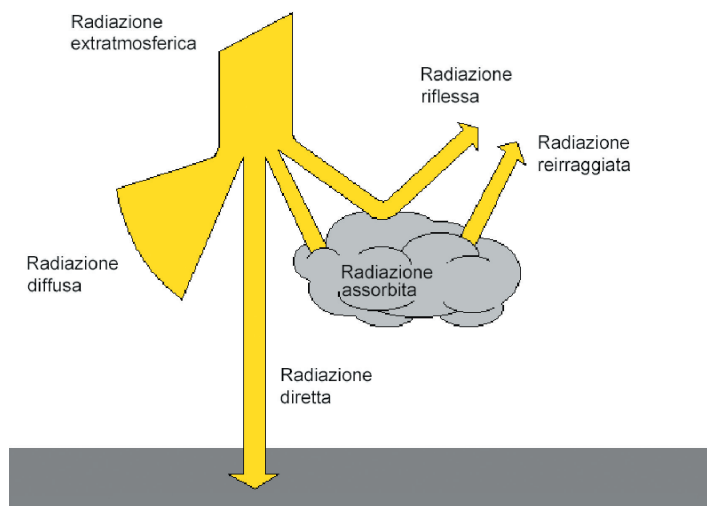


Figura 4. Distribuzione della radiazione solare nel passaggio attraverso l'atmosfera

<sup>1</sup> Il fluido vettore, a seconda della tipologia del collettore, può essere costituito da acqua, aria, olio, ecc.

zato per applicazioni industriali, riscaldamento di ambienti, produzione di acqua calda per usi igienici, ecc.

Sotto l'aspetto applicativo, va fatta una distinzione in riferimento alla temperatura raggiunta dal fluido vettore. Come parametro di confronto viene indicata la temperatura di 100°C ed in particolare si individuano i campi di applicazione riportati nella seguente tabella.

Applicazioni a bassa temperatura	Temperatura del fluido vettore $\leq 100^{\circ}\text{C}$	Applicazioni finalizzate al riscaldamento di ambienti, produzione di acqua calda, ecc.
Applicazioni a media temperatura	Temperatura del fluido vettore compresa tra 100 – 300°C	Applicazioni di tipo industriale
Applicazioni ad alta temperatura	Temperatura del fluido vettore $\geq 500^{\circ}\text{C}$	

### 5.1.1.1. Applicazioni a bassa temperatura

Tali sistemi solari sono sostanzialmente costituiti da due elementi fondamentali, *il collettore* (generalmente per tali applicazioni vengono impiegati **collettori di tipo piano** capaci di funzionare in presenza di radiazione solare sia diretta che diffusa) e *il serbatoio*. Il collettore o pannello capta l'energia solare e la trasferisce al fluido vettore (un liquido o l'aria) sotto forma di calore. Il serbatoio, ben isolato termicamente, accumula l'acqua calda, prodotta dal collettore, per gli usi finali.

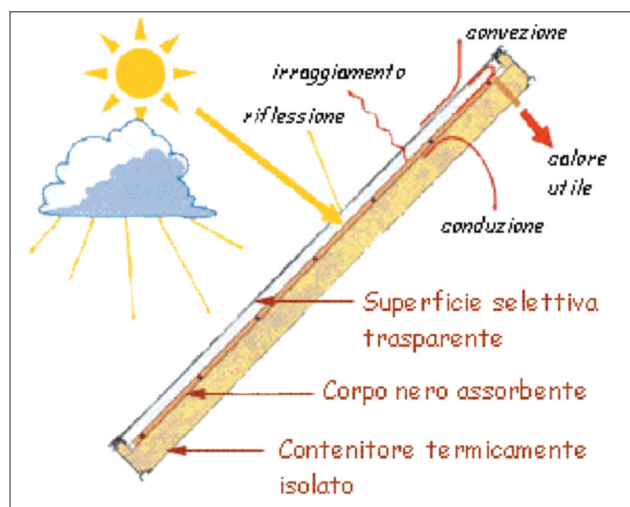


Figura 5. Schema collettore piano

no), coperta da un vetro protettivo in grado di sopportare pioggia, grandine e temperature rigide, che filtra i raggi solari e crea l'effetto serra per intrappolare il calore. All'interno della cella si trova l'assorbitore di calore vero e proprio, che è una lastra metallica scura, detta anche piastra captante, o corpo nero assorbente, sulla quale sono saldati i tubi all'interno dei quali circola il fluido vettore.

Esistono numerose applicazioni del solare termico che differiscono per grandezza di impianto e per la tipologia di uso finale (Fig. 6).

Il serbatoio, ben isolato termicamente, accumula l'acqua calda, prodotta dal collettore, per gli usi finali.

I *collettori piani* (Fig. 5), sono composti da una cella/intelaiatura termicamente isolata (in legno incollato a tenuta di acqua o in allumi-

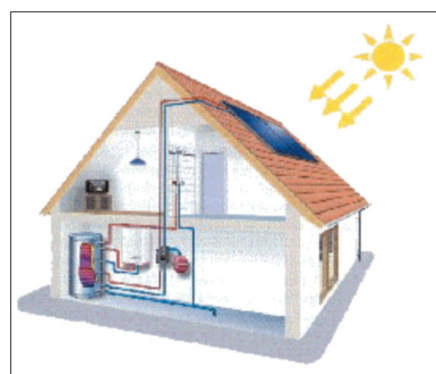


Figura 6. Impianto termosolare. Tutti gli edifici che dispongono di uno spazio soleggiato (tetto inclinato, tetto terrazato, giardino, ecc.) possono essere dotati di un impianto solare per la produzione di acqua calda sanitaria.

Tra le applicazioni più diffuse, ricordiamo:

- produzione di acqua calda sanitaria da utilizzare per docce, bagni, cucine, ecc.;
- riscaldamento piscine da utilizzare sia per quelle coperte che per quelle scoperte;
- riscaldamento degli ambienti in inverno;
- produzione di calore per processi di tipo agroalimentare o industriali.

#### 5.1.1.2. Applicazioni a media temperatura

Per questo tipo di applicazioni vengono solitamente impiegati i **collettori a concentrazione** (Fig. 7), costituiti da un cilindro parabolico a specchio e da un assorbitore tubolare.

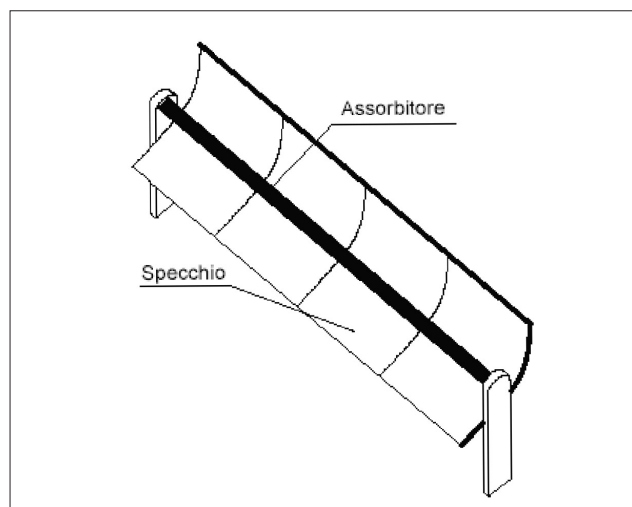


Figura 7. Collettori a concentrazione. Pannelli solari termici in cui si utilizza un sistema di specchi per concentrare i raggi solari a partire da un'area più ampia su di una superficie più ristretta.

Gli specchi parabolici focalizzano la radiazione solare incidente nel fuoco della parabola dove è posizionato l'assorbitore. Questo è costituito da un elemento tubolare di colore nero all'interno del quale circola il fluido vettore da riscaldare.

Con questo tipo di collettore si raggiungono temperature del fluido vettore comprese tra 100°C e 300°C e quindi esso risulta particolarmente adatto a soluzioni impiantistiche che richiedono tali temperature. Un'applicazione tipica di questi collettori è quella del funzionamento a caldaia. Gli specchi parabolici focalizzano la radiazione solare sui tubi pieni di olio sintetico, che viene utilizzato per produrre vapore mediante uno scambiatore di calore. Gli inconvenienti di un tale sistema sono ri-

scontrabili nella notevole occupazione di territorio.

#### 5.1.1.3. Applicazioni ad alta temperatura (Centrale solare)

Questo tipo di applicazione riguarda gli impieghi per la produzione di energia elettrica. Si utilizzano normalmente i sistemi a torre, i cui elementi essenziali sono:

- il *campo specchi*, formato da un elevato numero di superfici riflettenti che seguono automaticamente il percorso del sole e che concentrano istante per istante i raggi solari verso un ricevitore;
- il *ricevitore energetico* (caldaia puntuale), collocato su una torre posta in posizione centrale rispetto al campo specchi;
- il *sistema di conversione dell'energia termica* prima in energia meccanica (turbina a vapore) e successivamente in energia elettrica (generatore elettrico);
- il *sistema di regolazione* preposto a mantenere gli specchi ortogonali alla radiazione diretta. L'inseguimento può essere attuato da un computer o da elementi fotosensibili che, istante per istante, misurano l'errore di orientamento del singolo specchio.

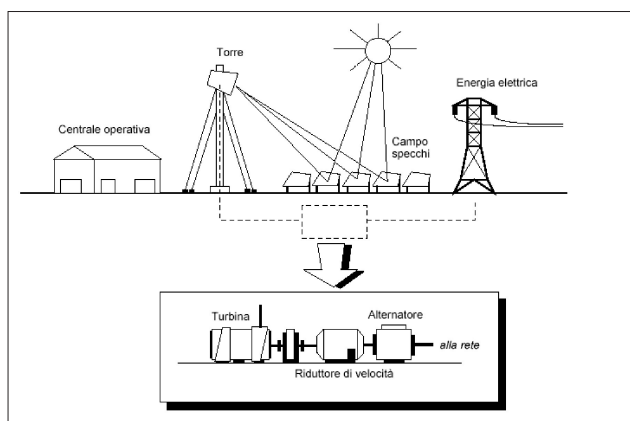


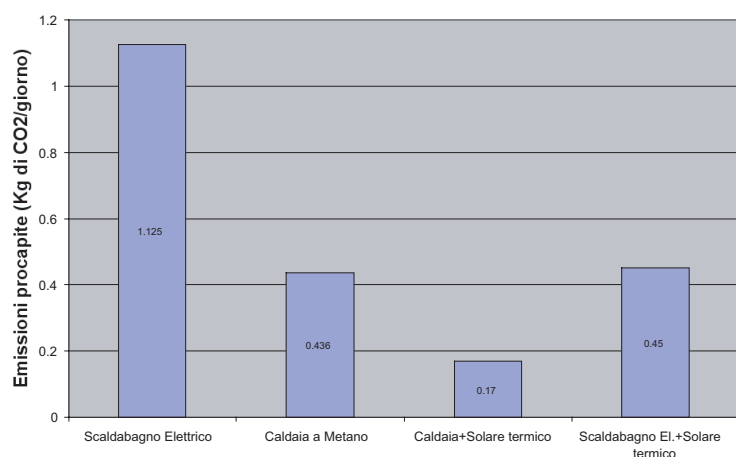
Figura 8. Centrale solare a torre. La radiazione solare investe il campo di specchi e viene focalizzata sulla caldaia che, raggiungendo temperature elevate (circa 500°C), fa evaporare l'acqua che vi circola. Il vapore prodotto, ad elevata temperatura e pressione, si espande in una turbina a vapore che, mettendo in rotazione l'alternatore, produce energia elettrica.

#### 5.1.1.4. Rapporto con l'ambiente e vantaggi

I sistemi solare termico, specialmente se integrati negli edifici, per la loro silenziosità, l'assenza di qualsiasi emissione (non contribuiscono all'effetto serra, alle patologie respiratorie, alle piogge acide), non hanno praticamente impatto ambientale (se non per i processi industriali di produzione dei pannelli). I benefici ambientali ottenibili dall'adozione di sistemi solare termico sono proporzionali alla quantità di energia prodotta, supponendo che questa vada a sostituire dell'energia altrimenti fornita da fonti convenzionali. In particolare, il parametro di confronto tra le diverse tecnologie a disposizione può essere la quantità

di anidride carbonica mediamente immessa nell'ambiente per produrre, nelle stesse condizioni, acqua calda sanitaria.

Tuttavia, essendo l'energia solare una fonte aleatoria sulla superficie terrestre, i collettori solari termici vanno realisticamente considerati



integrativi rispetto alle tecnologie tradizionali: vanno quindi considerati capaci di fornire direttamente solo parte dell'energia necessaria che altrimenti dovrebbe essere prodotta dalla caldaia tradizionale. La percentuale di energia termica prodotta annualmente da un collettore solare termico prende il nome di fattore di copertura del fabbisogno termico annuo. Per questo motivo un collettore solare termico per

la produzione di acqua calda sanitaria dimensionato correttamente, viene progettato per soddisfare il 60÷65% del fabbisogno termico. Questo limite è comune a moltissime tecnologie basate su fonti rinnovabili, il più delle volte caratterizzate da disponibilità aleatoria o periodica. Inoltre, con il crescere delle dimensioni dell'impianto, cresce il fattore di copertura del carico termico, ma la relazione tra il costo dell'energia e l'energia prodotta resta lineare solo fino al 55%÷60%. Superato questo valore, il costo continua ad aumentare linearmente con le dimensioni dell'impianto, mentre l'energia prodotta aumenta meno rapidamente, il che si traduce in un maggiore costo dell'unità di superficie del collettore.

#### 5.1.2. Solare fotovoltaico

La tecnologia fotovoltaica consiste nella trasformazione diretta della luce solare in energia elettrica, sfruttando il cosiddetto effetto fotoelettrico. Si basa quindi sulla capacità di alcuni materia-

li semiconduttori, opportunamente trattati, di convertire l'energia della radiazione solare in energia elettrica in corrente continua senza bisogno di parti meccaniche in movimento. I dispositivi fotovoltaici sono dei pannelli composti da semiconduttori in grado di convertire direttamente l'energia solare in energia elettrica evitando quindi il ricorso ai combustibili fossili. L'elemento base di tale sistema è la cellula fotovoltaica, cioè una sottile lamina, in genere silicio opportunamente trattato.

Figura 10. Conformazione esteriore di una cellula fotovoltaica. Il contatto superiore identifica il morsetto negativo del componente, quello inferiore corrisponde al polo positivo del generatore di tensione.

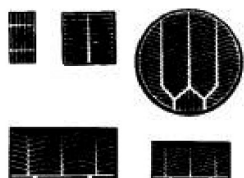
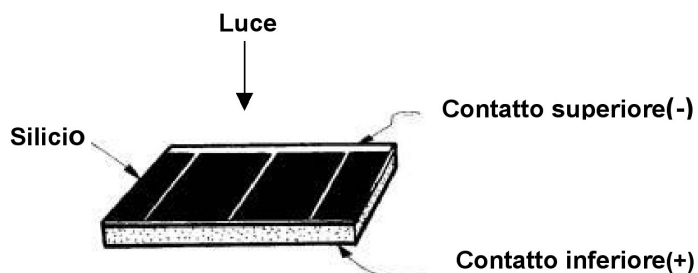
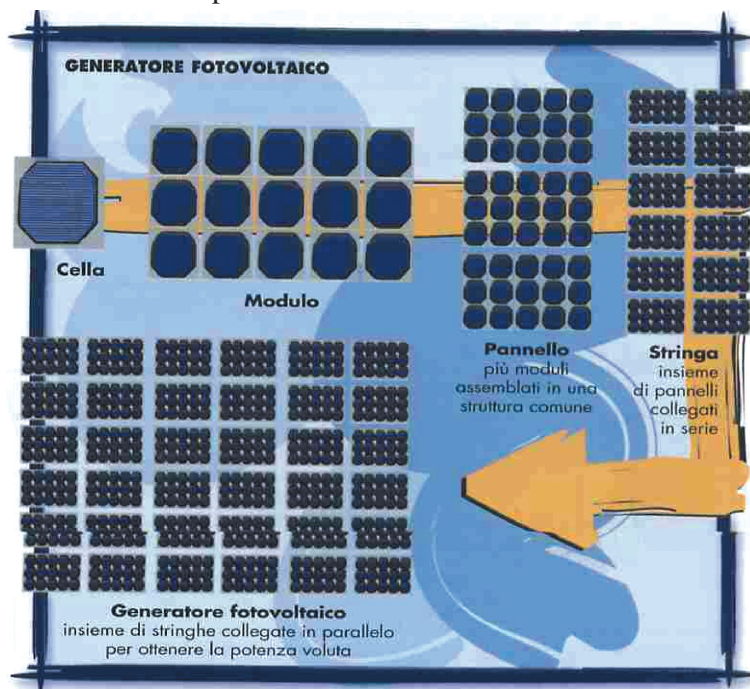


Figura 11. Esempi di parti sensibili di cellule fotovoltaiche, realizzate in forme e grandezze diverse.

Un sistema fotovoltaico è essenzialmente costituito da un generatore, da un sistema di condizionamento e controllo della potenza, da un eventuale accumulatore di energia, la batteria, e naturalmente dalla struttura di sostegno.

Il generatore fotovoltaico è costituito da un insieme di moduli fotovoltaici collegati in modo da ottenere i valori di potenza e tensione desiderati.



I moduli sono costituiti da un insieme di celle. Più moduli collegati insieme formano un pannello, ovvero una struttura rigida ancorabile al suolo o ad un edificio. Un insieme di pannelli, collegati elettricamente in serie costituisce una stringa. Più stringhe, collegate generalmente in parallelo per fornire la potenza richiesta, costituiscono il generatore fotovoltaico.

Dal punto di vista elettrico non ci sono praticamente limiti alla produzione di potenza da sistemi fotovoltaici, perché il collegamento in parallelo di più file di moduli, le "stringhe", consente di ottenere potenze elettriche di qualunque valore. Il trasferimento dell'energia dal sistema fotovoltaico all'utenza av-

Figura 12. Generatore fotovoltaico – [Fonte: ENEA – Op. n. 22 “L’energia fotovoltaica”]

viene attraverso ulteriori dispositivi necessari a trasformare la corrente continua<sup>2</sup> prodotta in corrente alternata (quella presente nelle case mediante la rete elettrica), adattandola alle esigenze dell'utenza finale.

### 5.1.2.1. Applicazioni del solare fotovoltaico

Gli impianti fotovoltaici sono dunque strumenti che convertono l'energia solare direttamente in energia elettrica, senza ricorrere alla tecnologia di produzione tradizionale che sfrutta i combustibili fossili. La potenza di questi dispositivi varia da pochi a diverse decine di Wat<sup>3</sup>, a seconda delle dimensioni e delle tecnologie adottate.

Secondo il tipo di applicazione cui l'impianto è destinato, le condizioni di installazione, le scelte impiantistiche, il grado di integrazione nella struttura edilizia con cui si interfaccia, si distinguono diverse tipologie di impianto.

#### Sistemi isolati

Sono i sistemi (Fig. 13) non collegati alla rete elettrica e sono costituiti dai moduli fotovoltaici, dal

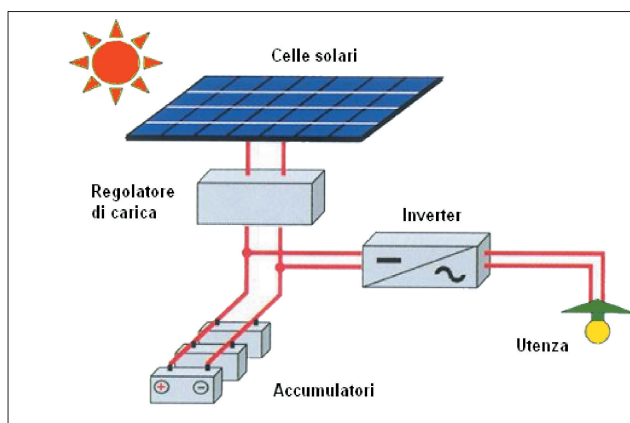


Figura 13. Schema di un impianto fotovoltaico isolato

regolatore di carica e da un sistema di batterie che garantisce l'erogazione di corrente anche nelle ore di minore illuminazione o di buio. La corrente generata dal sistema fotovoltaico è una corrente continua. Se l'utenza è costituita da apparecchiature che prevedono una alimentazione in corrente alternata è necessario anche un convertitore, l'inverter.

Questi impianti risultano tecnicamente ed economicamente vantaggiosi nei casi in cui la rete elettrica è assente o difficilmente raggiungibile. Sono diffusi soprattutto nei paesi in via di sviluppo per utenze di carattere rura-

le che li utilizzano anche per il pompaggio dell'acqua. Le applicazioni più diffuse attualmente in Italia servono ad alimentare:

- ❖ Apparecchiature isolate per il pompaggio dell'acqua, soprattutto in agricoltura;
- ❖ Ripetitori radio, stazioni di rilevamento e trasmissione dati (meteorologici e sismici), app. telefonici;
- ❖ Apparecchi di refrigerazione, specie per il trasporto medicinali;
- ❖ Sistemi di illuminazione;
- ❖ Segnaletica sulle strade, nei porti e negli aeroporti;
- ❖ Alimentazione dei servizi nei camper, impianti pubblicitari, ecc.

<sup>2</sup> Con corrente continua si intende un tipo di corrente che non varia nel tempo. Essa è ottenuta tipicamente da pile e accumulatori (come le batterie delle automobili) sfruttando reazioni chimiche o da trasformazione di energia meccanica tramite dinamo. È utilizzata principalmente nell'elettronica digitale, infatti tutti i dispositivi elettronici devono essere alimentati in tensione (e quindi corrente) continua; ma viene anche utilizzata nella trazione, infatti i motori dei treni e dei filobus sono alimentati in corrente continua.

<sup>3</sup> Il Watt (abbreviato con la W) è, secondo il sistema internazionale (SI), l'unità di potenza (energia per unità di tempo: Joule/secondo).



### Sistemi collegati alla rete

Sono impianti (Fig. 14) stabilmente collegati alla rete elettrica. Nelle ore in cui il generatore fotovoltaico non è in grado di produrre l'energia necessaria a coprire la domanda di elettricità, la rete fornisce l'energia richiesta. Viceversa, se il sistema fotovoltaico produce energia elettrica in più, il surplus viene trasferito alla rete e contabilizzato.

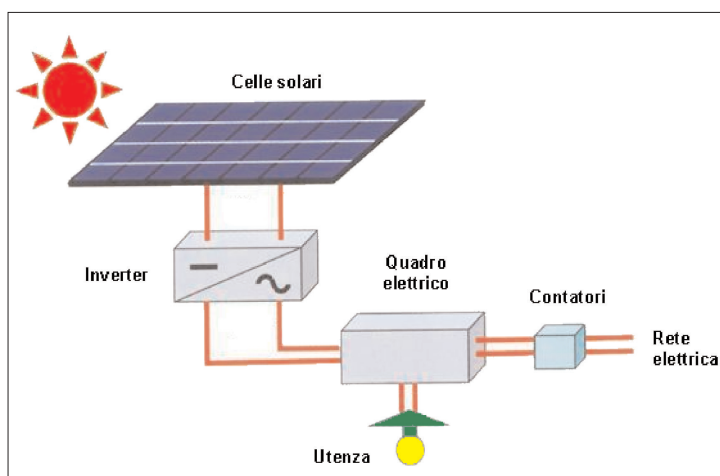


Figura 14. Schema di un impianto fotovoltaico connesso alla rete pubblica perché la rete di distribuzione sopprime alla fornitura di energia elettrica nei momenti di indisponibilità della radiazione solare.

Negli impianti integrati negli edifici vengono installati due contatori per contabilizzare gli scambi tra l'utente e la rete. Un inverter trasforma l'energia elettrica da corrente continua prodotta dal sistema fotovoltaico, in corrente alternata. Tali sistemi non hanno bisogno di batterie

#### 5.1.2.2. Rapporto con l'ambiente e vantaggi

Le voci che costituiscono il costo di un sistema fotovoltaico sono: costi di investimento, costi d'esercizio (manutenzione e personale) e altri costi (assicurazioni e tasse). Il costo d'investimento è in prima approssimazione diviso al 50% tra i moduli ed il resto del sistema. Nel corso degli ultimi due decenni il prezzo dei moduli è notevolmente diminuito al crescere del mercato. Tuttavia, il prezzo del kWp installato è ancora tale da rendere questa tecnologia non competitiva dal punto di vista economico con altri sistemi energetici, se non in particolari nicchie di mercato o in presenza di meccanismi di incentivazione.

I vantaggi dei dispositivi fotovoltaici sono molteplici:

- Le esigenze di manutenzione sono ridotte in quanto non ci sono parti meccaniche in movimento.
- Vengono eliminate le perdite di distribuzione dell'energia elettrica perché vengono installati vicino all'utilizzatore finale.
- Non hanno praticamente impatto ambientale, non producono inquinamento di alcun genere (acustico, atmosferico, ecc.) durante il loro funzionamento se non per i processi industriali di produzione delle celle.
- È possibile prevedere la produzione annuale di energia con un piccolo margine di errore, indipendentemente dalla variabilità di richiesta.
- La potenza dell'impianto può essere modificata in qualsiasi momento senza problemi.
- L'impatto visivo delle centrali fotovoltaiche è sicuramente minore di quello delle centrali termoelettriche o di qualsiasi grosso impianto industriale; in particolare le installazioni hanno bassa altezza.
- L'integrazione negli edifici privati permette addirittura di essere virtualmente invisibile se si sfrutta la copertura dell'edificio, oppure di ottenere notevoli soluzioni architettoniche con le facciate fotovoltaiche.

---

## 5.2. L'energia eolica

L'energia eolica è una risorsa fornita dal Sole e si crea, principalmente, per le differenze di temperatura tra la terra, l'aria e il mare e, chiaramente, tra le calotte polari e l'equatore. La potenza contenuta nel vento rappresenta un'enorme fonte di energia. La trasformazione avviene sfruttando una moderna versione dei mulini a vento (aerogeneratori o turbine eoliche). Queste apparecchiature sono essenzialmente composte da piloni di diversa altezza sulla cui sommità vi è un sistema rotante costituito da pale. L'energia cinetica dell'aria in movimento determina una pressione sulle pale causando la rotazione e producendo energia meccanica che può essere utilizzata in modo diretto da macchine operatrici o per produzione di energia elettrica.

### 5.2.1. I sistemi eolici: la produzione di energia

I sistemi che utilizzano l'energia del vento vengono definiti *Sistemi Eolici* ed in particolare ne esistono tre tipologie:

1. *Sistemi eolici di pompaggio meccanico* – Sono sistemi che utilizzano l'energia del vento per convertirla direttamente in energia meccanica disponibile all'asse di una pompa. Questa tecnologia è diffusa specialmente in quelle aree rurali dei Paesi in via di sviluppo, dove l'approvvigionamento energetico comporta difficoltà e costi eccessivi.

2. *Sistemi eolici di pompaggio elettrico* – Si tratta di sistemi di applicazione dell'energia eolica mediante la quale si converte tale energia in energia elettrica e con questa si alimenta la pompa.

3. *Sistemi eolici elettrici* – Sistemi con i quali si converte l'energia del vento direttamente in energia elettrica ottenendo buoni rendimenti di conversione. Tali sistemi rappresentano l'applicazione di maggiore spicco della tecnologia eolica.

La *produzione di energia elettrica* dipende dalla velocità del vento. Al variare della velocità del vento, misurata in m/s, l'aerogeneratore produrrà una diversa potenza di energia elettrica.

Esistono due soglie, una minima e una massima, affinché l'aerogeneratore eolico produca energia elettrica:

- Al di sotto di una determinata velocità minima del vento l'aerogeneratore non eroga energia elettrica e le pale girano in folle. Questa soglia minima è generalmente posta ad una velocità del vento di 3 metri al secondo. Ad ogni modo la soglia minima dipende dalle caratteristiche dell'aerogeneratore, dalle sue dimensioni e dalla tecnologia utilizzata.
- Esiste anche una soglia massima oltre la quale le pale dell'aerogeneratore smettono di girare per evitare danni alla turbina. La potenza del vento superiore a 25 metri al secondo è una buona soglia di sicurezza. Oltre queste velocità l'aerogeneratore non produce energia elettrica.

In termini assoluti l'energia cinetica associata all'insieme complessivo dei flussi d'aria nell'atmosfera sarebbe molto grande, ma l'energia a cui si può attingere è solo quella che risiede in uno strato relativamente sottile dell'atmosfera, poco al di sopra del terreno, cioè lo strato entro il quale possono arrivare le pale delle turbine eoliche. In meteorologia questo strato coincide con il cosiddetto "strato limite superficiale", che si estende all'incirca 100-200 metri al di sopra del terreno, in cui la rugosità superficiale del terreno e gli ostacoli presenti, come alberi, edifici, rocce, ecc., esercitano un effetto dissipativo dell'energia disponibile. Al fine di aumentare l'altezza dei piloni senza causare un eccessivo impatto ambientale, nuovi progetti di impianto studiano zone marine con fondali bassi lontane dalle spiagge.

---

Un altro limite alla produzione di energia è dato dal fatto che la velocità del vento è, per sua stessa natura, molto variabile nel tempo e può mutare considerevolmente nel corso dei mesi, dei giorni, delle ore, dei minuti e anche dei secondi. A questi fattori si sommano poi effetti periodici legati alla stagionalità degli scambi di calore tra la terra e il sole e tra l'atmosfera ed il terreno, ed effetti stocastici correlati alla natura delle leggi che governano l'evoluzione dell'atmosfera. La producibilità di energia di un aerogeneratore dipende dall'area del rotore e dalla efficienza aerodinamica dello stesso. Importante è la disponibilità della fonte e quella della stessa macchina; in genere le ore utili per la produzione di energia eolica sono circa 1500 - 2000 all'anno con punte in siti particolarmente interessanti di circa 2400 all'anno, mentre buone macchine consentono di avere una disponibilità dell'ordine di almeno il 95%.

### 5.2.2. Principali elementi di un aerogeneratore

Esistono aerogeneratori diversi per taglia di potenza (Fig. 16):

- macchine di piccola taglia (potenza 5-100 kW; altezza 10-20 metri)
- macchine di media taglia (potenza 100-800 kW; altezza 25-50 metri);
- macchine di grande taglia (potenza 800-2500 kW; altezza 60-80 metri).

L'elemento fondamentale di un aerogeneratore è il rotore costituito da un mozzo sul quale sono fissate le pale. Queste sono solitamente realizzate in fibra di vetro o in materiale composito per garantire solidità, resistenza e leggerezza. I rotori a due pale sono meno costosi e girano a velocità più



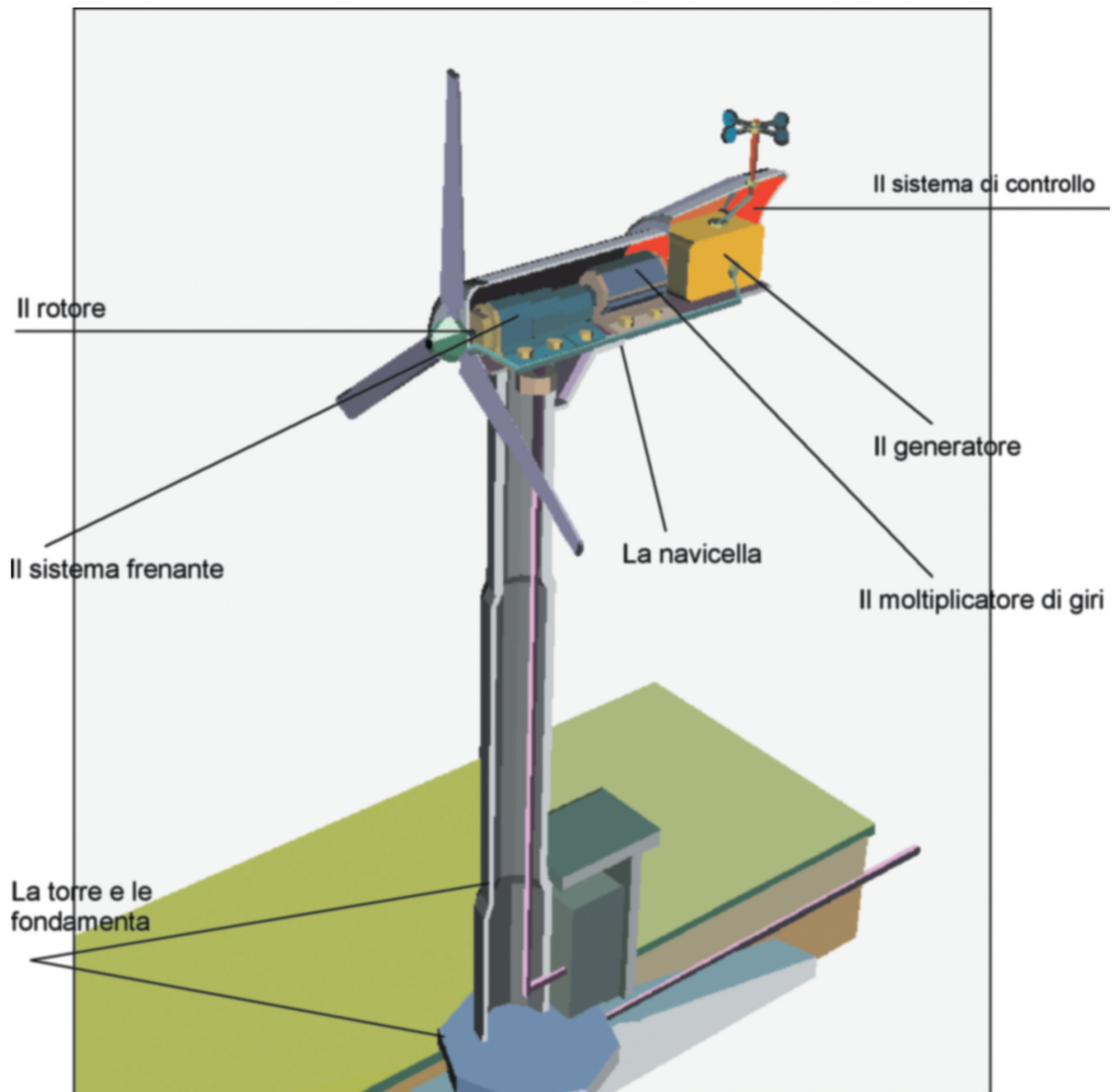
Figura 15. Aerogeneratore. La navicella

elevate. Sono però più rumorosi e vibrano di più di quelli a tre pale. Tra i due la resa energetica è quasi equivalente. Sono stati realizzati anche rotori con una sola pala, equilibrata da un contrappeso. A parità di condizioni, questi rotori sono ancora più veloci dei bipala, ma hanno rese energetiche leggermente inferiori. Ci sono anche rotori con numerose pale, di solito 24, che vengono impiegati per l'azionamento diretto di macchine, come le pompe. Infine, sono stati messi a punto dei rotori con pale "mobili". Variando l'inclinazione delle pale al variare della velocità del vento è possibile mantenere costante la quantità di elettricità prodotta.

Il *sistema frenante* è costituito da due sistemi indipendenti di arresto delle pale: un sistema di frenaggio aerodinamico e uno meccanico. Il primo viene utilizzato per controllare la potenza dell'aerogeneratore, come freno di emergenza in caso di sovravelocità del vento e per arrestare il rotore. Il secondo viene utilizzato per completare l'arresto del rotore e come freno di stazionamento.

Il *moltiplicatore di giri* serve per trasformare la rotazione lenta delle pale in una rotazione più veloce in grado di far funzionare il generatore di elettricità.

Il *generatore* trasforma l'energia meccanica in energia elettrica. La potenza del generatore viene indicata in chilowatt (kW).



Il *sistema di controllo* svolge due diverse funzioni: gestisce, automaticamente e non, l'aerogeneratore nelle diverse operazioni di lavoro e aziona il dispositivo di sicurezza che blocca il funzionamento dell'aerogeneratore in caso di malfunzionamento e di sovraccarico dovuto ad eccessiva velocità del vento.

La *navicella* (Fig. 15) è una cabina all'interno della quale sono montati tutti i componenti di un aerogeneratore, ad eccezione, naturalmente, del rotore e del mozzo. La navicella è posizionata sulla cima della torre e può girare di 180° sul proprio asse.

La *torre* (Fig. 17) sostiene la navicella e il rotore, può essere a forma tubolare o a traliccio. In genere è costituita in legno, in cemento armato, in acciaio o con fibre sintetiche. La struttura dell'aerogeneratore, per poter resistere alle oscillazioni e alle vibrazioni causate dalla pressione del vento, deve essere ancorata al terreno mediante *fondamenta* completamente interrati e costruite con cemento armato.

### 5.2.3. Applicazioni dell'energia eolica

Attualmente l'eolico presenta applicazioni prevalentemente indirizzate alla produzione di energia mediante delle vere e proprie centrali che immettono l'energia prodotta in rete. La bassa densità energetica dell'energia eolica per unità di area della superficie di territorio, comporta la necessità di procedere alla installazione di più macchine per lo sfruttamento della risorsa disponibile. L'esempio più tipico di un impianto eolico è rappresentato dalla Fattoria del vento (serie di più aerogeneratori disposti variamente sul territorio ma collegati ad un'unica linea che li raccorda alla rete locale o nazionale). Gli impianti eolici possono poi classificarsi in base alla loro dislocazione sul territorio: impianti sulla terraferma ed impianti sul mare.

*Le Fattorie del vento* sono realizzate da un certo numero di aerogeneratori situati in una zona aperta e ventilata che producono energia per tutto l'anno. Gli aerogeneratori devono essere distanziati tra loro di circa 5-10 volte il diametro delle pale per evitare interferenze reciproche, e per tale motivo occupano enormi superfici.



Figura 18. Fattorie del vento

Per esempio, nel caso di un aerogeneratore medio, ne va installato uno ogni 200 metri circa. Solitamente le fattorie del vento (Fig. 18) sono installate nei pressi delle linee elettriche di alta tensione per contenere i costi di trasporto dell'energia.

*Le Fattorie del vento realizzate in mare* (Fig. 19) sono costituite da un certo numero di aerogeneratori di grande taglia situati nelle zone costiere altamente popolate e con poche disponibilità di territorio. La tecnologia degli aerogeneratori da utilizzare in siti offshore (in mare) è in pieno sviluppo:



Figura 19. Fattorie del vento del mare

esistono prototipi da circa 3 MW. Secondo alcune stime, gli impianti eolici nei mari europei potrebbero fornire oltre il 20% del fabbisogno elettrico dei paesi costieri.

Oltre ai grandi impianti esistono anche le piccole applicazioni per i privati e le piccole industrie; in questo caso è presente un solo piccolo generatore. (Fig. 20)

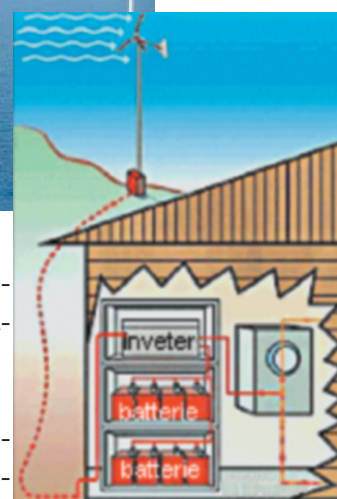


Figura 20. Piccolo impianto eolico

---

#### 5.2.4. L'analisi del sito

La scelta del sito è il primo elemento da analizzare per la realizzazione di un impianto eolico (Fig. 21). La sua individuazione deve essere condotta in modo accurato, ed infatti è necessario effettuare una serie di indagini anemologiche (misura della velocità del vento, della direzione, della durata). La valutazione della ventosità di un sito richiede un'accurata indagine che può durare anni; è molto importante perché influisce in maniera diretta sulla producibilità energetica di una macchina, che



Figura 21. Impianto eolico

è proporzionale al cubo della velocità del vento: se quest'ultima raddoppia, l'energia elettrica ottenibile aumenta circa di otto volte. I siti vanno selezionati sulla base di indicatori biologici (grado di inclinazione permanente del fogliame, rami, tronchi degli alberi), geomorfologici (ostacoli naturali e antropici quali edifici, rugosità e orografia del terreno), socioculturali (toponomastica e memoria storica degli abitanti), nonché di un attento esame dei vincoli esistenti (ambientali, archeologici, demaniali). Anche l'esistenza di strade adeguate e la vicinanza a linee elettriche devono essere tenute presente, poiché hanno implicazioni

dirette con la redditività di un'iniziativa. La scelta del sito deve essere seguita da un'efficace disposizione delle macchine, che vanno opportunamente distanziate sul terreno per evitare eventuali reciproche interferenze fluidodinamiche che ne riducano la produttività.

#### 5.2.5. Le Fattorie del vento e l'ambiente

La generazione di energia elettrica per via eolica presenta indiscutibili vantaggi ambientali: produzione di energia da immettere direttamente sulla rete locale; disponibilità di potenza direttamente vicino ai centri di carico locali; emissioni inquinanti evitate dalla sostituzione di una quota parte del parco termoelettrico.

I possibili effetti indesiderati degli impianti hanno luogo solo su scala locale e riguardano: l'occupazione del territorio, l'impatto visivo, il rumore, gli effetti sulla flora e la fauna e le interferenze sulle telecomunicazioni.

*Occupazione del territorio:* la bassa densità energetica dell'energia eolica per unità di area della superficie di territorio, comporta la necessità di procedere alla installazione di più macchine per lo sfruttamento della risorsa disponibile. Tuttavia gli aerogeneratori e le opere a supporto (cabine elettriche, strade) occupano solo il 2-3% del territorio necessario per la costruzione di un impianto e a differenza delle centrali elettriche convenzionali la parte del territorio non occupata dalle macchine può essere impiegata per l'agricoltura e la pastorizia.

*Impatto visivo:* gli aerogeneratori (Fig. 21) per la loro configurazione sono visibili in ogni contesto ove vengono inseriti. Ma una scelta accurata della forma e del colore dei componenti, per evitare che le parti metalliche riflettano i raggi del sole, consente di armonizzare la presenza degli impianti eolici nel paesaggio.



Figura 18. Fattorie del vento

*Il rumore* che emette un aerogeneratore viene causato dall'attrito delle pale con l'aria e dal moltiplicatore di giri. Questo rumore può essere smorzato migliorando l'inclinazione delle pale e la loro conformazione, e la struttura e l'isolamento acustico della navicella. Il rumore che viene prodotto deve essere inferiore ai 45 decibel in prossimità delle abitazioni vicine. Tale valore corrisponde ad una conversazione a bassa voce.

*Effetti su flora e fauna:* i soli effetti riscontrati riguardano il possibile impatto degli uccelli con il rotore delle macchine. Il numero di uccelli che muoiono è comun-

que inferiore a quello dovuto al traffico automobilistico, ai pali della luce o del telefono.

*Interferenze sulle telecomunicazioni ed effetti elettromagnetici:* per evitare possibili interferenze sulle telecomunicazioni e la formazione di campi elettromagnetici basta stabilire e mantenere la distanza minima fra l'aerogeneratore e, ad esempio, stazioni terminali di ponti radio, apparati di assistenza alla navigazione aerea e televisori.

Infine, l'utilizzo di energia eolica consente di evitare l'immissione nell'atmosfera delle sostanze inquinanti e dei gas serra prodotti dalle centrali convenzionali.

### 5.3. L'energia idrica

L'acqua, che è da sempre la principale risorsa per la vita sulla terra, riveste un ruolo di primaria importanza anche per le tematiche di natura energetica. Il suo ciclo naturale (rinnovabile) è caratterizzato dalla migrazione di un grande quantitativo di acqua dal mare la quale evaporando per effetto del sole, sale negli strati più alti dell'atmosfera acquistando energia potenziale. Successivamente, ricadendo sulla terra sotto forma di pioggia, alimenta fiumi e torrenti che la raccolgono e la riconducono verso il mare utilizzando una notevole quantità di energia.

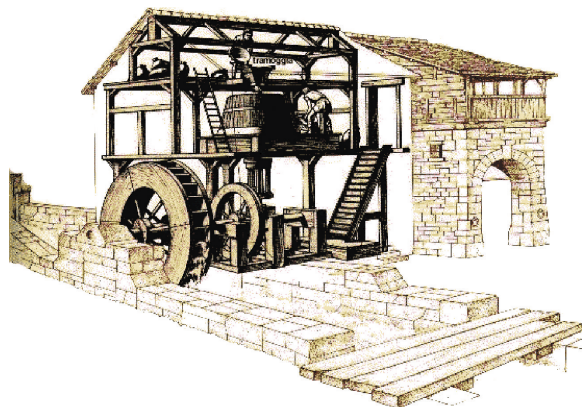


Figura 23. Primi mulini ad acqua

L'uso energetico dell'acqua ha una storia consolidata, dalle applicazioni idrauliche dei primi mulini ad acqua (Fig. 23) si è passati, nel corso degli anni e con l'evoluzione tecnologica, ad applicazioni prevalentemente atte alla produzione di energia elettrica. Il principio base della produzione di energia elettrica dall'acqua risiede sostanzialmente nella conversione dell'energia potenziale e dell'energia cinetica dell'acqua in movimento, in energia elettrica. Per poter ottenere questa trasformazione è necessario realizzare delle opere che consentano un tale processo.

### 5.3.1. Impianti idroelettrici

Il sistema complessivo per la produzione di energia elettrica dall'acqua prende il nome di impianto idroelettrico. I principali elementi di un impianto idroelettrico sono:

- ❖ Il serbatoio di accumulo
- ❖ Il sistema di derivazione dell'acqua
- ❖ Le condotte (in genere forzate)
- ❖ La centrale
- ❖ Il sistema di trasmissione dell'energia elettrica

Gli impianti idroelettrici (Fig. 24) attuali sfruttano l'energia potenziale meccanica contenuta in una portata di acqua che si trova disponibile ad una certa quota rispetto al livello in cui sono posizionate le turbine. Pertanto la potenza di un impianto idraulico dipende da due fattori: il salto (dislivello esistente fra la quota a cui è disponibile la risorsa idrica svasata e il livello a cui la stessa viene restituita dopo il passaggio attraverso la turbina) e la portata (la massa d'acqua che fluisce attraverso la macchina espressa per unità di tempo). L'acqua, accumulata nel bacino artificiale situato in alto, ad una certa quota rispetto alla centrale, viene prelevata e convogliata, per caduta, mediante delle condotte in genere forzate all'interno della centrale, sulla turbina che, mettendosi in rotazione, "trascina" l'alternatore che produce energia elettrica. L'acqua scaricata dalla turbina prosegue il suo naturale cammino.

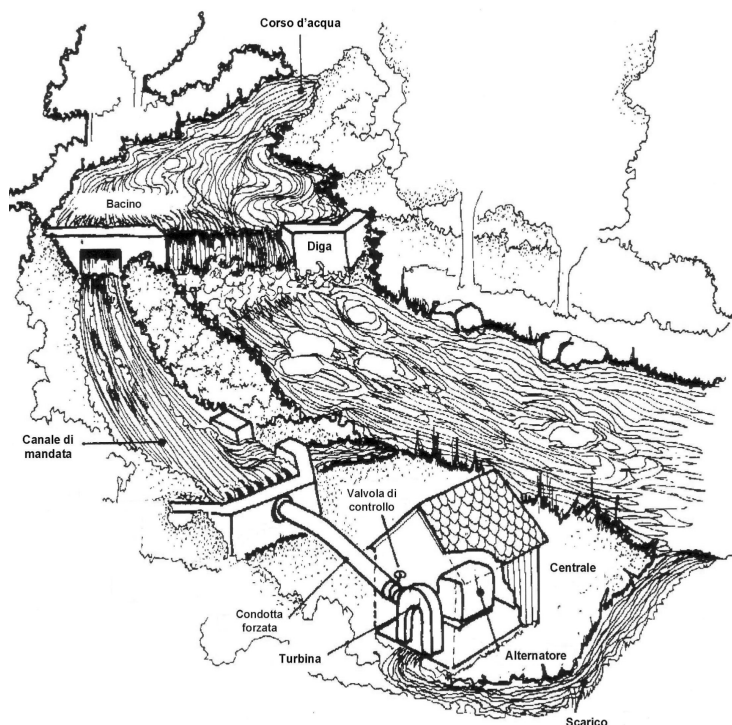


Figura 24. Schema-tipo di installazione idroelettrica

#### *Serbatoio di accumulo*

Il serbatoio di accumulo, posizionato a monte della centrale, viene realizzato sbarrando il percorso dei fiumi mediante la costruzione di dighe, talvolta di dimensioni enormi. Man mano che l'acqua si accumula, aumenta il livello dando origine così ad un lago artificiale. La necessità di accumulare l'acqua ha come scopo non tanto quello di realizzare un maggior dislivello tra l'acqua e la centrale, quanto quello di accumulare un notevole quantitativo di acqua per poter assicurare la costanza della portata da elaborare, che altrimenti risulterebbe di difficile controllo.

#### *Sistemi di derivazione*

Solitamente le centrali elettriche di tali sistemi vengono posizionate in località a valle della diga e si suole convogliare l'acqua alla centrale tramite canali di derivazione o condotte in galleria. Nel pri-



---

mo caso, si tratta di canali aperti, con piccola pendenza e di notevole lunghezza, che portano l'acqua dal serbatoio di accumulo ad un bacino di carico immediatamente a monte della centrale. Nel secondo caso, si realizzano delle condotte in galleria di notevole lunghezza e piccola pendenza, quando la natura del terreno è irregolare.

#### *Condotte forzate*

Tubazioni caratterizzate da una forte pendenza, con il compito di convogliare l'acqua dal bacino di carico all'interno della centrale.

#### *Centrale*

È un grande edificio al cui interno è presente tutta la strumentazione necessaria all'intero processo produttivo. I principali elementi situati all'interno della centrale sono la turbina idraulica, macchina idraulica motrice che riceve energia dall'acqua e la trasforma in energia meccanica di rotazione utilizzabile, e l'alternatore, che trasforma l'energia meccanica di rotazione conferitagli dalla turbina in energia elettrica.

### **5.3.2. Rapporto con l'ambiente**

La produzione di energia idroelettrica non provoca emissioni gassose o liquide che possano inquinare l'aria o l'acqua. I grandi impianti idroelettrici a bacino possono presentare qualche problema dal punto di vista dell'inserimento ambientale, e necessitano quindi di opportune valutazioni di impatto ambientale, tese a garantire l'assenza di interferenze con l'ambiente naturale. L'inquinamento acustico proveniente da una centrale dipende prevalentemente dalle turbine e dagli eventuali meccanismi di moltiplicazione dei giri. Attualmente il rumore può essere ridotto fino a 70 dB (A) all'interno della centrale, e fino a livelli praticamente impercettibili all'esterno. La pubblica opinione è riluttante ad accettare l'installazione di impianti che modifichino le caratteristiche visuali dei siti, in particolar modo se si tratta di impianti idroelettrici d'alta quota od inseriti in un centro urbano. Per quanto riguarda i grossi impianti a bacino, qui l'impatto visivo è evidente e difficilmente mascherabile, in questo caso è necessaria una attenta valutazione dell'impatto dell'impianto sul territorio; ed in questo caso si deve anche valutare una possibile valorizzazione architettonica che può essere data a questi impianti, rappresentativa comunque di un modo pulito di fare energia.

Il rapporto con gli ecosistemi è un aspetto fondamentale da tenere presente nella progettazione di un impianto idroelettrico; esistono due aspetti che sono strettamente collegati con il prelievo di acque superficiali e che possono generare impatti di due diversi ordini:

- a) impatto relativo alla variazione (diminuzione) della quantità dell'acqua, con possibili conseguenze conflittuali per gli utilizzatori ed effetti sulla fauna acquatica;
- b) impatto relativo alla variazione di qualità dell'acqua in conseguenza di variazioni di quantità ed anche in conseguenza di possibili modificazioni della vegetazione riparia.

La diminuzione della portata di acqua non deve quindi essere eccessiva e deve essere rispettato il valore del deflusso minimo vitale, altrimenti si possono arrecare danni alla deposizione, incubazione, alla crescita e al transito dei pesci; per quanto riguarda quest'ultimo aspetto si deve prendere in considerazione il movimento dei pesci che risalgono la corrente e di quelli che la discendono, realizzando gli opportuni passaggi e installare le opportune reti che evitino che i pesci entrino nelle opere di presa e che passino nella turbina (alcuni tipi di turbine possono essere causa di mortalità della fauna ittica).

---

La generazione di energia elettrica per via idroelettrica presenta l'indiscutibile vantaggio ambientale di non immettere nell'ecosfera sostanze inquinanti, polveri, calore, come invece accade nel caso dei metodi tradizionali di generazione per via termoelettrica. In particolare si riducono le emissioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) di 670 g per ogni kWh di energia prodotta. Altri benefici sono, come per le altre rinnovabili, la minore dipendenza dalle fonti energetiche estere, la diversificazione delle fonti e la riorganizzazione a livello regionale della produzione di energia.

L'idroelettrico, rispetto alle altre fonti rinnovabili, è già arrivato ad un valore molto elevato di utilizzo delle risorse. I grandi impianti idroelettrici sono infatti oramai quasi tutti realizzati ed i margini di un ulteriore sviluppo si possono avere nella realizzazione dei piccoli impianti.

#### 5.4. L'energia geotermica

L'energia geotermica è una particolare forma di energia dovuta al calore immagazzinato all'interno



della terra. Tale calore si propaga sino in superficie per effetto della trasmissione attraverso i vari strati oppure per mezzo di fluidi vettore (acqua e gas), dando origine a manifestazioni spontanee come i geysir, le fumarole, le sorgenti termali, ecc.

Un *campo geotermico* (Fig 25) può esistere solo in condizioni geologiche favorevoli per la sua esistenza. Una di queste condizioni è la presenza di una massa di magma a profondità non troppo grande: questo stock

magmatico è infatti la sorgente di calore di un campo geotermico.

Quindi, un campo geotermico risulta costituito fondamentalmente da tre elementi:

- una sorgente di calore, cioè un deposito profondo di magma;
- un acquifero, cioè una serie di rocce permeabili;
- una copertura, cioè una serie di rocce impermeabili.

La temperatura della Terra aumenta di circa un grado ogni 30 metri di profondità. Nelle zone geologicamente attive, come quelle vulcaniche, il gradiente è ancora maggiore.

La risorsa geotermica risulta costituita da acque sotterranee che, venendo a contatto con rocce ad alte temperature, si riscaldano e in alcuni casi vaporizzano.

L'energia geotermica può essere utilizzata per diversi scopi quali la produzione di energia elettrica, applicazioni industriali, usi termali, ecc.

Il suo utilizzo è comunque subordinato alla locazione di "Aree Geotermiche", caratterizzate dalla presenza di evidenti fenomeni geotermici come quelli vulcanici e sismici. Tali aree, ben localizzate e distinte dal punto di vista geologico, coprono circa il 10% delle terre emerse ed in particolare sono posizionate in definite fasce geografiche.

Fra queste aree è presente l'Italia, caratterizzata da un grande potenziale geotermico.

##### 5.4.1. I sistemi geotermici

Si definisce sistema geotermico (Fig. 26) un sistema aperto e rinnovabile. Il sistema è definito rinnovabile perché può essere alimentato dalle acque meteoriche che attraversando gli strati del terre-

no, raggiungono i serbatoi naturali. L'acqua accumulata si riscalda per effetto del calore contenuto nel sottosuolo raggiungendo anche temperature di alcune centinaia di gradi. Il fluido formatosi può risalire in superficie attraverso faglie e fratture, dando origine così a tipiche manifestazioni geotermiche come ad esempio i geyser.

La risalita in superficie del fluido geotermico può avvenire anche artificialmente con aperture prodotte mediante perforazione meccanica: si originano così i pozzi geotermici.

Generalmente un sistema geotermico è costituito dai seguenti elementi strutturali:

- ❖ Una fonte di calore;
- ❖ Un serbatoio, contenente un fluido minerale;
- ❖ Roccia di copertura;
- ❖ Eventuale alimentazione di acqua meteorica.

In base alla tipologia del fluido vettore che arriva in superficie, si possono distinguere diverse tipologie di sistema geotermico. Le principali sono riportate nella seguente tabella:

Sistemi a vapore secco o “a vapore dominante”	Sono costituiti soprattutto da vapore secco che si trova a pressioni e temperature elevate accompagnato da altri gas o sostanze solubili.
Sistemi a vapore umido o “ad acqua dominante”	Sono costituiti da acqua calda a temperatura superiore al suo punto di ebollizione e ad alta pressione, nel momento in cui viene ridotta la pressione nella colonna del pozzo l'acqua vaporizza ed arriva in superficie sotto forma di una miscela composta di acqua e vapore. La temperatura in questo tipo di sistema è compresa tra 180 e 370° C.
Sistemi ad acqua calda	Contengono acqua a temperatura inferiore ai 100° C (50-82° C) utilizzabile soprattutto per usi diretti (riscaldamento delle abitazioni, delle serre, impianti industriali).
Sistemi in rocce calde secche	Sono sistemi formati con la creazione artificiale di un serbatoio geotermico. Nel serbatoio viene iniettata, tramite un pozzo, dell'acqua fredda che, una volta scaldatasi grazie all'elevato calore delle rocce, è fatta risalire in superficie per la sua utilizzazione.
Sistemi geopressurizzati	Tale nome deriva dal fatto che l'acqua, a temperatura elevata (200° C), si trova imprigionata in serbatoi sottoposti ad una pressione superiore a quella idrostatica. Possono produrre energia geotermica, meccanica, chimica.

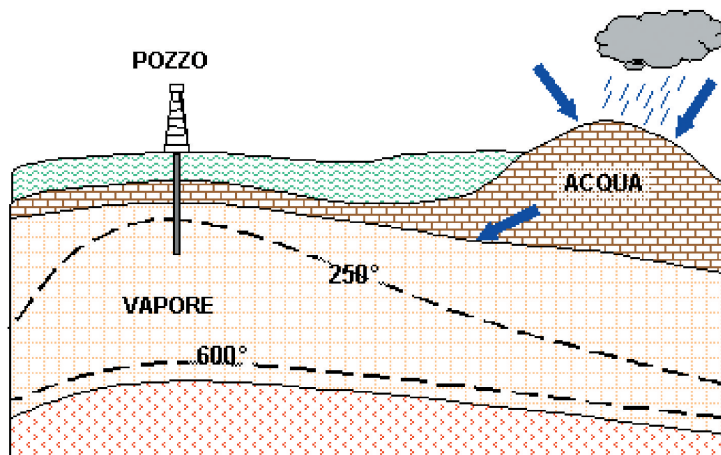


Figura 26. Schema di sistema geotermico. Si può notare che nello schema la temperatura del vapore oscilla dai 600°C ai 250°C a seconda della profondità del pozzo. L'acqua assorbita dal terreno quando arriva in prossimità del magma, diventa vapore.

Gli usi dell'energia geotermica sono indirizzati prevalentemente verso tre settori:

1. Applicazioni ad alta potenza
2. Applicazioni a bassa potenza
3. Usi termali, con scopi terapeutici e/o ricreativi.

Generalmente, in presenza di fluidi vettori ad alta potenza (temperatura > 150°C) si privilegia la produzione di *energia elettrica*, mentre nei casi a bassa potenza (temperatura < 100°C) l'energia geotermica trova applicazione negli *usi termici diretti*: civili, agricoli, industriali.

#### 5.4.2. Produzione di energia elettrica (fluidi vettori ad alta potenza)

La produzione di energia elettrica avviene nelle centrali geotermoelettriche (Fig. 27), in cui il principio di funzionamento è simile a quello delle centrali termoelettriche: il vapore proveniente dal sottosuolo viene inviato ad un gruppo turbo-alternatore, che produce energia elettrica. La differenza sostanziale risiede nel fatto che nelle centrali geotermoelettriche il gruppo turbo-alternatore è trascinato dal vapore proveniente dal sottosuolo invece che da un generatore di vapore. Inoltre, la pressione del vapore è minore in quelle geotermiche rispetto alle centrali termoelettriche.

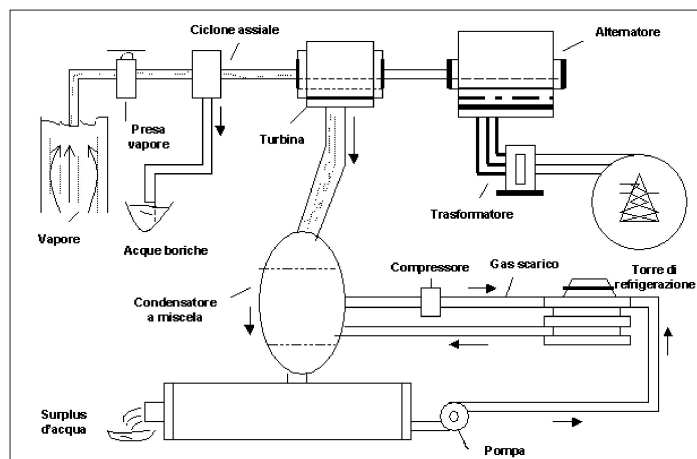


Figura 28. Schema di una centrale geotermoelettrica

Nelle centrali geotermoelettriche le tipologie di impianto sono fortemente legate al tipo di fluido vettore che caratterizza il campo geotermico. Infatti, in presenza di vapore secco, questo può essere inviato direttamente al gruppo turbo-alternatore mentre, nel caso di un fluido vettore costituito da una miscela bifase di acqua e vapore, questo può essere inviato alla turbina solo dopo essere stato sottoposto ad un processo di separazione.

#### 5.4.3. Applicazioni termiche dirette (fluidi vettori a bassa potenza)

Il riscaldamento è la forma più antica e diffusa tra gli *usi diretti* dell'energia geotermica. Si possono distinguere due processi particolari dipendenti dalla tipologia del fluido vettore:

- Campo ad acqua dolce
- Campo ad acqua salata

Nel *campo ad acqua dolce*, il fluido vettore, dopo aver ceduto il calore necessario a soddisfare l'utenza, può essere tranquillamente smaltito in superficie, senza la necessità di reiniettarlo nel pozzo, con un sicuro risparmio economico dovuto a minori accorgimenti tecnici, ma in tal caso potrebbe verificarsi un abbassamento del livello sia statico che dinamico del pozzo con conseguente riduzione della produzione di fluido vettore.

Nel *campo ad acqua salata*, il fluido vettore, cede il calore ad un circuito secondario dove circola acqua di acquedotto. L'acqua salata ormai fredda viene reiniettata nel sottosuolo per evitare forme di inquinamento. In particolare, il sistema è costituito da due circuiti separati: nel primo circola il fluido geotermico, nel secondo circola l'acqua che serve l'utenza, a cui viene ceduto il calore tramite uno scambiatore. In tali situazioni si verifica un aumento dei costi, dovuto alla realizzazione di un altro pozzo per la reiniezione del fluido e ai particolari accorgimenti tecnici dovuti alla presenza di acqua con elevato contenuto di salinità.

*Funzionamento di un impianto geotermico (Fig. 28):*

Le componenti di un impianto ad energia geotermica per il controllo della temperatura in ambito residenziale sono sostanzialmente tre:



Figura 28. Esempio di applicazione geotermica per uso domestico

- Una pompa di calore normalmente collocata all'interno dell'edificio;
- Un insieme di tubi opportunamente interrati per scambiare calore con il terreno;
- Sistema di scambio di calore con l'ambiente interno (esempio: impianto a pannelli radianti).

Lo scambio di calore con il terreno avviene attraverso una rete di tubi in polietilene che possono essere interrati orizzontalmente a pochi metri di profondità oppure verticalmente se lo spazio attorno all'edificio è limitato. La lunghezza dei tubi, la profondità a cui arrivare ed il numero di loop da utilizzare vengono calcolati in base alla latitudine del luogo, al tipo di sottosuolo ed ai carichi termici dell'edificio. La regola è che più il terreno è saturo d'acqua meglio scambia calore e quindi più ridotta può essere la lunghezza dei tubi.

Funzionamento invernale	Nella pompa di calore i tubi provenienti dal terreno vengono a stretto contatto con le spire di un evaporatore, all'interno delle quali scorre un liquido refrigerante che a contatto con i tubi più caldi evapora e viene inviato ad un compressore: qui il gas viene altamente compresso e quindi surriscaldato ed è pronto per essere inviato allo scambiatore con l'ambiente interno per cedere calore. Una volta raffreddato, il refrigerante ritorna allo stato liquido ed il ciclo ricomincia.
Funzionamento estivo	In estate il ciclo è invertito ed il sistema cede al terreno il calore estratto dall'ambiente interno rinfrescandolo.

---

#### 5.4.4. I sistemi geotermici e l'ambiente

L'energia geotermica fa parte della categoria delle fonti energetiche rinnovabili, ed è quindi a tutti gli effetti una energia pulita; il "geotermico" può avere un minimo impatto ambientale dovuto ai gas incondensabili immessi in atmosfera.

Ai fluidi geotermici sono sempre associati dei gas incondensabili che sono solitamente disciolti all'interno del fluido geotermico. Questi gas non condensano alla temperatura e pressione ambientale e quindi, dopo l'utilizzazione dei fluidi, vengono estratti dal condensatore (per non pregiudicarne l'efficienza) e rilasciati nell'atmosfera; sono sostanze già presenti nell'atmosfera e l'unica accortezza è quella di far sì che vengano diluiti nell'atmosfera in modo che non si presentino a livello del suolo con concentrazioni potenzialmente nocive.

Il fluido geotermico, dopo essere stato utilizzato per la produzione di energia elettrica, deve essere portato fuori dalla centrale e fatto ritornare nell'ambiente esterno (reflui liquidi). I fluidi geotermici possono contenere una varietà di sostanze naturali, alcune delle quali (come il boro, l'arsenico, il mercurio, il piombo e lo zolfo) potenzialmente dannose per l'uomo e l'ambiente se presenti in elevate concentrazioni e se vengono liberate in superficie.

Solitamente i reflui liquidi di produzione delle centrali sono reiniettati nel sottosuolo (cioè dal luogo di provenienza) sia ai fini del loro "smaltimento" che per una parziale ricarica del campo e evitando così dissesti nel sottosuolo, e dunque non rappresentano un problema per l'uomo e l'ambiente.

Le emissioni sonore di un impianto geotermico sono ridotte e limitate ad un ben preciso periodo di tempo: la fase più delicata è quella di perforazione dei pozzi. Successivamente, durante l'esercizio dell'impianto, i rumori prodotti dipendono soprattutto dalle aperture delle valvole di sfioro conseguenti alla messa fuori servizio. Il rumore è oggi un problema facilmente risolvibile e praticamente irrilevante, come dimostrato dalle positive esperienze di insonorizzazione delle centrali esistenti.

Non vi sono particolari rapporti tra le centrali geotermoelettriche e gli ecosistemi, a parte le superfici occupate dagli impianti che possono interferire solo marginalmente con gli ecosistemi. I vecchi



stabilimenti geotermici assomigliano ai tanti complessi industriali presenti sul territorio, ma con l'aspetto positivo di occupare molta meno superficie.

Nelle nuove realizzazioni e nei progetti di riqualifica di quelli esistenti si riescono a trovare soluzioni esteticamente convincenti e che differenziano notevolmente tali impianti dal resto degli impianti industriali.

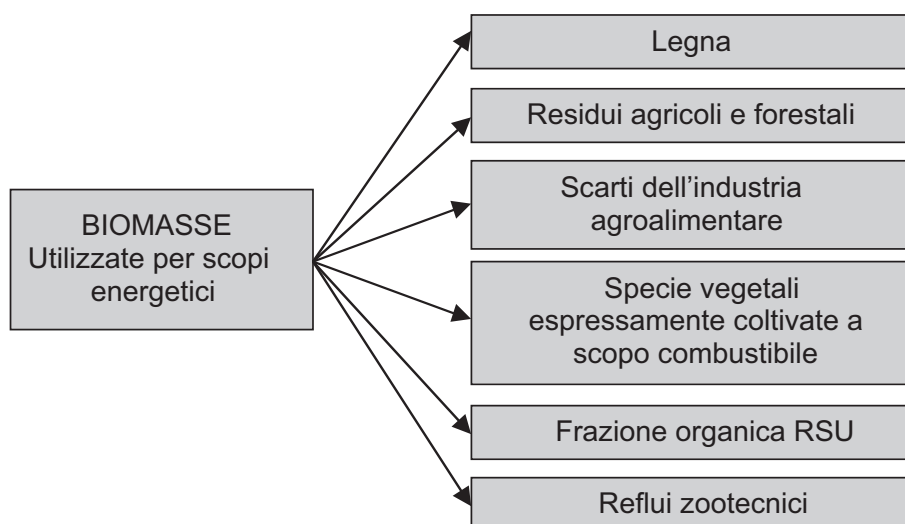
La generazione di energia elettrica per via geotermica presenta il vantaggio (come le altre fonti rinnovabili) di evitare con il suo utilizzo la combustione di combustibili di origine fossile. Ciò comporta l'annullamento delle immissioni di anidride carbonica nella atmosfera (un piccola quantità viene immessa sotto forma dei "gas incondensabili") ed una minore importazione di combustibili fossili dall'estero. Consente la produzione di grossi quantitativi di energia elettrica che è facilmente trasportabile. Inoltre le centrali geotermiche sono modulari (possono quindi crescere con l'aumentare delle esigenze), flessibili nel loro utilizzo, funzionanti 24 ore al giorno e dalla lunga vita utile. Gli impianti possono essere simultaneamente usati sia per produrre energia elettrica che per applicazioni dirette del fluido geotermico, se la temperatura del fluido è sufficientemente alta. Infine c'è da considerare che i bacini geotermici sono praticamente inesauribili o comunque hanno una lunghissima durata.

---

## 5.5. Energia dalle biomasse

Il termine “biomassa” indica la materia organica di origine biologica. A livello energetico e con particolare riferimento alle energie rinnovabili, al termine biomassa si associa l’origine non fossile della sostanza, per poterla distinguere dal petrolio e dal carbone. La biomassa utilizzabile ai fini energetici consiste in tutti quei materiali organici che possono essere utilizzati direttamente come combustibili ovvero trasformati in altre sostanze (solide, liquide o gassose) di più facile utilizzo negli impianti di conversione.

Altre forme di biomassa possono, inoltre, essere costituite dai residui delle coltivazioni destinate all’alimentazione umana o animale (paglia) o piante espressamente coltivate per scopi energetici. Le più importanti tipologie di biomassa sono residui forestali, scarti dell’industria di trasformazione del legno (trucioli, segatura, etc.) scarti delle aziende zootecniche, gli scarti mercatali, ed i Rifiuti Solidi Urbani.



La biomassa rappresenta la forma più sofisticata di accumulo dell’energia solare. Questa, infatti, consente alle piante di convertire la CO<sub>2</sub> atmosferica in materia organica, tramite il processo di fotosintesi, durante la loro crescita. Questa energia chimica può, a sua volta, essere utilizzata per produrre altre forme di energia, rappresentando così un modo indiretto di impiego dell’energia solare. La biomassa rappresenta la forma più sofisticata di accumulo dell’energia solare. Questa, infatti, consente alle piante di convertire la CO<sub>2</sub> atmosferica in materia organica, tramite il processo di fotosintesi, durante la loro crescita. Questa energia chimica può, a sua volta, essere utilizzata per produrre altre forme di energia, rappresentando così un modo indiretto di impiego dell’energia solare.

Combustione Diretta	Il calore prodotto durante il processo di combustione può essere utilizzato direttamente per il riscaldamento o per la produzione di vapore. Nel primo caso si tratta di applicazioni tipiche relative all'utilizzo del calore in modo diretto (caminetto) o attraverso applicazioni più tecnologiche (caldaia per impianto termico) per riscaldamento civile o industriale. Nel secondo caso il calore sviluppato durante il processo di combustione può essere impiegato per produrre vapore da utilizzare in un ciclo termodinamico per la produzione di energia elettrica oppure come forza motrice.
Conversione in Combustibili liquidi	Alcune specie di biomasse possono essere coltivate ed utilizzate per la produzione di combustibili liquidi come biodiesel (es. i girasoli, soia, colza) ed etanolo (es. specie zuccherine come il sorgo). Questi possono essere totalmente additivati ai derivati del petrolio per autotrazione o riscaldamento.
Digestione Anaerobica (Produzione di Biogas)	A partire da materie organiche quali reflui zootecnici, civili o agroalimentari, è possibile ottenere un prodotto gassoso tramite fermentazione anaerobica. All'interno della massa in fermento, per effetto della decomposizione della materia organica, si sviluppa nel tempo una miscela di prodotti gassosi, che prende il nome di Biogas. Quest'ultimo è composto in massima parte da metano (CH <sub>4</sub> ) e anidride carbonica (CO <sub>2</sub> ).
Gassificazione (Produzione di Gas Combustibile)	La gassificazione consiste nell'ossidazione incompleta di alcuni tipi di biomasse (legna, colture apposite, residui agricoli e rifiuti organici) in ambiente ad elevata temperatura (900÷1.000°C) per la produzione di un gas combustibile (detto gas di gasogeno) di basso potere calorifico. I problemi connessi a questa tecnologia, ancora in fase di sperimentazione, si incontrano a valle del processo di gassificazione e sono legati principalmente al suo basso potere calorifico ed alle impurità presenti nel gas (polveri, catrami e metalli pesanti).
Carbonizzazione	È un processo di tipo termochimico che consente la trasformazione delle molecole strutturate dei prodotti legnosi e cellulósici in carbone (carbone di legna o carbone vegetale), ottenuta mediante l'eliminazione dell'acqua e delle sostanze volatili dalla materia vegetale, per azione del calore nelle carbonaie, all'aperto, o in storte, che offrono una maggior resa in carbone.



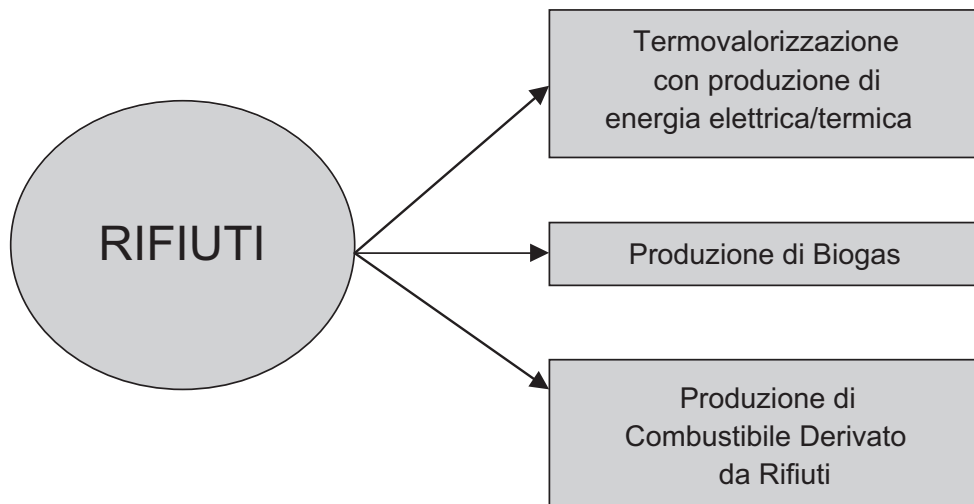
Pirolisi	E' un processo di decomposizione termochimica di materiali organici ottenuto fornendo calore (400°-800°C) alle biomasse in assenza di ossigeno. Si ottengono prodotti gassosi, oli combustibili e carbone.
Steam Explosion	E' un trattamento innovativo, a basso impatto ambientale, mediante il quale si può ottenere una vasta gamma di prodotti, utilizzando come materia prima le biomasse vegetali. Lo SE presenta il vantaggio fondamentale di separare in tre differenti correnti le frazioni costituenti i comuni substrati vegetali (emicellulosa, cellulosa, lignina) rendendo possibile l'utilizzazione totale delle biomasse. Il processo consiste nell'uso di vapore saturo ad alta pressione per riscaldare rapidamente legno, o qualsiasi altro materiale lignocellulosico, in un reattore che può essere ad alimentazione continua o discontinua.

Lo sfruttamento a fini energetici delle biomasse può assumere un ruolo strategico, contribuendo ad uno sviluppo sostenibile ed equilibrato del pianeta. Un impiego diffuso delle biomasse può comportare notevoli ricadute a livello economico, ambientale ed occupazionale. I principali vantaggi sono riportati nella seguente tabella:

Vantaggi dell'uso delle biomasse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• È una forma di energia rinnovabile, sono risorse disponibili in natura, e capace di riformarsi in tempi relativamente brevi;</li> <li>• Riduzione della quantità totale di rifiuti solidi da smaltire;</li> <li>• Contenimento delle emissioni di CO<sub>2</sub> (la biomassa non contribuisce all'effetto serra poiché la CO<sub>2</sub> prodotta dalla sua combustione viene riassorbita dalla nuova biomassa in crescita piantata in uguale quantità);</li> <li>• Nel processo di combustione della biomassa si produce pochissimo zolfo e quindi si contribuisce alla riduzione del fenomeno di acidificazione delle piogge;</li> <li>• Recupero di vaste aree abbandonate e/o in stato di degrado per lo sviluppo delle colture energetiche.</li> </ul>
----------------------------------	---

## 5.6. Energia dai rifiuti

I rifiuti, originati dalle attività dell'uomo, sono una risorsa rinnovabile. Possono essere considerati come una risorsa energetica, sia per la loro quantità abbondante, destinata ad aumentare per gli elevati ritmi di consumo che la civiltà attuale sostiene, sia per il loro potere calorifico che ne consente tali applicazioni. I rifiuti possono essere impiegati in modo diretto oppure indirettamente per conversione in "combustibili" intermedi. Nel seguente schema, sono riportati i principali impieghi energetici:



**Termovalorizzazione (o incenerimento) con produzione di energia elettrica/termica**

Si tratta di un processo di combustione (con elevato eccesso d'aria) che ha lo scopo di abbattere termicamente le sostanze inquinanti presenti nel rifiuto di partenza. La differenza tra il termine combustione e termovalorizzazione sta nel fatto che il primo si riferisce all'utilizzo di combustibili convenzionali, mentre il secondo si riferisce allo smaltimento dei rifiuti. L'obiettivo della termovalorizzazione è quello di ridurre la massa e il volume del rifiuto di partenza in modo da ottenere un residuo finale meno inquinante. Durante le fasi del processo, con opportuna tecnologia, è possibile produrre energia elettrica, termica o le due forme combinate.

Gli impianti preposti alla conversione energetica dei rifiuti sono chiamati impianti di incenerimento o termovalorizzatori.



Figura 32. Schema di funzionamento di un impianto termovalorizzatore

---

Di seguito sono analizzate le diverse fasi della produzione di energia elettrica e/o termica:

- I rifiuti conferiti all'impianto vengono scaricati in un'area d'ingresso dalla quale un sistema di aspirazione impedisce l'uscita di cattivi odori. I rifiuti vengono quindi depositati da una gru sul forno a griglia mobile, dove inizia la combustione.
- I rifiuti vengono rivoltati in continuazione sulla griglia in movimento. Una corrente d'aria forzata mantiene viva la combustione.
- L'estrazione delle scorie. Le sostanze più pesanti che "resistono" alla combustione (ad esempio i minerali come il ferro e l'acciaio), cadono in una vasca piena d'acqua, posta al sotto della griglia. Qui raffreddate, vengono estratte ed inviate in discariche normali.
- I fumi caldi della combustione portano in ebollizione una caldaia che produce vapore.
- Il vapore prodotto dalla caldaia viene trasformato in energia elettrica tramite una turbina e l'energia generata è immessa nella rete elettrica, mentre l'energia termica viene ceduta alla rete di teleriscaldamento.
- Il trattamento dei fumi. I fumi, dopo aver ceduto parte del proprio calore per la generazione del vapore, vengono convogliati in un sistema di trattamento a più stadi che sottrae loro le ceneri volanti e riduce le altre sostanze inquinanti in essi contenute.

#### *Produzione di Biogas*

Dai rifiuti si può ottenere gas mediante dei processi di gassificazione oppure mediante fermentazione dei rifiuti in discarica. Nel primo caso i rifiuti vengono trattati termicamente mentre nel secondo caso, dalla degradazione anaerobica (in assenza di aria) della frazione organica dei rifiuti, conferiti in discarica, si sviluppa nel tempo una miscela di prodotti gassosi che prende il nome di Biogas costituito in massima parte da metano. Il gas prodotto, dopo un'opportuna depurazione, può essere utilizzato come combustibile in turbine e motori primi a gas.

#### *Produzione di Combustibile Derivato da Rifiuti (CDR)*

Il Combustibile Derivato da Rifiuti viene ricavato dalla frazione secca dei rifiuti, opportunamente raffinata e depurata. Ha un potere calorifero maggiore del rifiuto tal quale, poiché non è presente in esso la frazione organica ricca di acqua.

---

## 6. LE ENERGIE NON RINNOVABILI (O CONVENZIONALI)

La maggior parte dell'energia oggi utilizzata è ottenuta da combustibili fossili (petrolio, gas naturale, carbone) e dall'uranio, che è un materiale fissile.

Più dell'85% del fabbisogno energetico mondiale è coperto dai combustibili fossili: il 40% dal petrolio, il 26% dal carbone e il 23% dal gas naturale; l'energia nucleare fornisce un ulteriore 7%.

Queste sono le cosiddette fonti di energia non rinnovabili (Fig. 33), destinate in periodi più o meno lunghi ad esaurirsi. Si tratta di fonti di energia primaria, che vengono trasformate soprattutto in energia elettrica dopo processi di conversione.

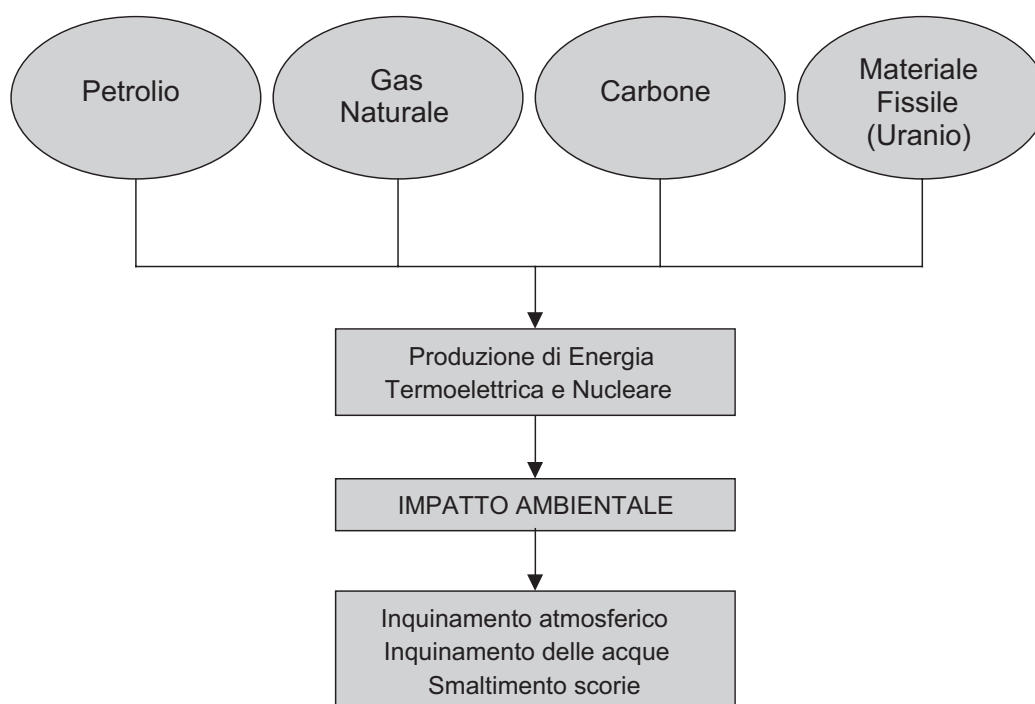


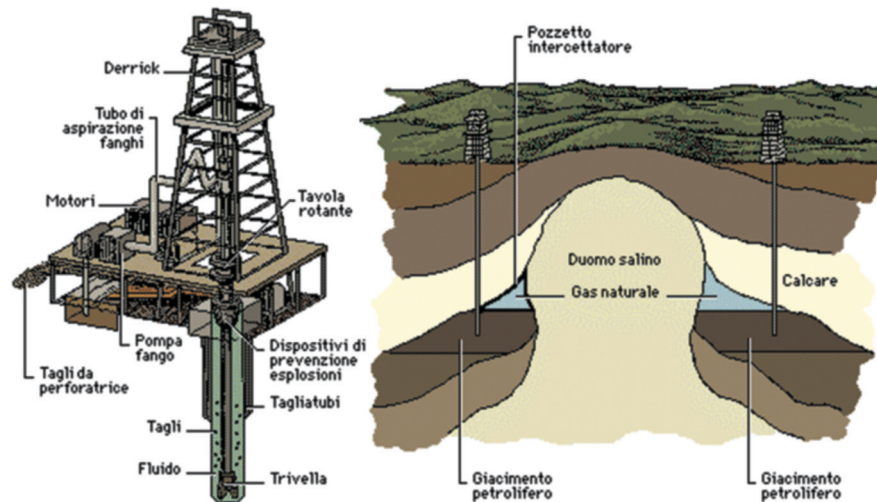
Figura 33. Fonti di energia non rinnovabili

### 6.1. Il petrolio

Il petrolio è il principale combustibile fossile liquido. E' costituito da una miscela di idrocarburi (molecole costituite da carbonio e idrogeno) che derivano dalla decomposizione in ambiente marino, al di sotto delle coperture sedimentarie, di organismi animali e vegetali. Poiché i tempi naturali di formazione del petrolio sono di decine di milioni di anni, e lo sfruttamento è invece rapidissimo, questa fonte, al pari degli altri combustibili fossili, è da considerarsi praticamente non rinnovabile. La maggiore o minore facilità di estrazione dipende dal grado di fluidità del greggio e dalla permeabilità della roccia porosa che lo racchiude. La pressione che permette al greggio di risalire in superficie è data dalla presenza in soluzione di idrocarburi gassosi: una volta effettuata la trivellazione della roccia, la spinta si distribuisce in tutte le direzioni e non solo verso l'alto, determinando la cosiddetta perdita di carico, che è inevitabile. Una volta esaurito il giacimento, resta una roccia spugnosa vuota. Un tempo si recuperava solo il petrolio che usciva dal sottosuolo spontaneamente, invece oggi si procede al recupero secondario mediante i sistemi di iniezione di gas oppure di acqua che



Figura 34. Estrazione del petrolio



consistono nel pompaggio sotto terra di gas o acqua, allo scopo di spingere verso l'alto il greggio rimasto nella roccia spugnosa e ormai privo di pressione.

Il petrolio greggio estratto (Fig. 34-35) non è immediatamente utilizzabile: deve essere deacquificato mediante riscaldamento, purificato per centrifugazione, separato nei suoi componenti principali (gas, benzina, gasolio, nafta, oli pesanti) mediante distillazione frazionata e trattato chimicamente per aumentarne il pregio. Tutte queste pratiche costituiscono il processo di raffinazione del petrolio. Sino agli anni Ottanta le raffinerie erano localizzate in prevalenza nei paesi economicamente sviluppati che importano il greggio. Infatti, i paesi esportatori non disponevano della tecnologia necessaria alla raffinazione.

Nell'ultimo decennio, invece, si è assistito ad un processo di re-

distribuzione delle raffinerie su scala mondiale. I paesi ricchi, meno attratti da un settore la cui tecnologia non è più così importante ed interessante, lo abbandonano, anche perché si tratta di un comparto ad elevato rischio ecologico; preferiscono quindi importare prodotti petroliferi già raffinati.

### 6.1.1. Impatti ambientali del petrolio

Oggi il 40% del fabbisogno energetico mondiale è coperto dal petrolio. La combustione, su tutto il pianeta, di enormi quantità di petrolio (centrali elettriche, mezzi di trasporto) risulta essere tra i maggiori responsabili dell'incremento riscontrato delle percentuali di anidride carbonica nell'atmosfera, con fortissima incidenza sul problema dell'effetto serra.

Vi sono poi aspetti negativi che vanno al di là dell'inquinamento prodotto dalla combustione:

#### *Ricerca ed estrazione*

La presenza dell'industria petrolifera ha significativi impatti sociali e ambientali, da incidenti e da attività di routine come l'esplorazione sismica, perforazioni e scarti inquinanti. L'estrazione petrolifera spesso disturba e danneggia l'ambiente. Ad esempio la ricerca e l'estrazione di petrolio offshore è preceduta dal dragaggio che danneggia il fondo marino e le alghe, fondamentali nella catena alimentare marina. Il greggio e il petrolio raffinato quando fuoriescono da navi petroliere incidentate vanno a danneggiare i fragili ecosistemi come è accaduto in Alaska, nelle Isole Galapagos, in Spagna e in molti altri luoghi.

---

### *Convenienza dell'estrazione*

In conseguenza delle crisi energetiche del 1973 e del 1979 l'opinione pubblica ha cominciato ad interessarsi ai livelli delle scorte di petrolio e ad avvertire la preoccupazione che, essendo il petrolio una risorsa limitata, essa sia destinata ad esaurirsi (almeno come risorsa economicamente sfruttabile). Come si rileva dai dati pubblicati annualmente, la quantità di petrolio già utilizzata è prossima al 50% di quello inizialmente disponibile, in altre parole si avvicina il momento del raggiungimento del "picco" dell'estrazione. Secondo questi dati il petrolio disponibile è sufficiente per circa 40 anni a partire da oggi, supponendo di continuarne l'estrazione al ritmo attuale, quindi senza tenere conto della continua crescita della domanda mondiale, che si colloca intorno al 2% annuo.

Secondo questi studi la quantità di petrolio estratto da un giacimento segue una curva a campana e la massima estrazione di greggio per unità di tempo si ha quando si è prelevato metà di tutto il petrolio estraibile dal giacimento. Come ha dimostrato il caso Stati Uniti d'America i cui giacimenti storici si sono esauriti, il numero di barili prodotto ogni giorno ha avuto un massimo e poi un declino come in una curva a campana.

Al momento dell'estrazione dell'ultima goccia di petrolio, l'umanità dovrà già da tempo aver smesso di contare su questa risorsa, in quanto man mano che i pozzi si vanno esaurendo la velocità con cui si può continuare ad estrarre decresce e il prezzo sale, costringendo a ridurre i consumi o ad utilizzare altre fonti energetiche.

## **6.2. Il gas naturale**

Il gas naturale è un gas prodotto dalla decomposizione anaerobica di materiale organico. Solitamente si trova insieme al petrolio associato ad esso, disciolto o raccolto in sacche o tasche superficiali (gas di copertura); oppure il giacimento è costituito esclusivamente da gas naturale, qualche volta come metano quasi puro o più spesso unito ai vapori di idrocarburi condensabili; nel caso in cui si genera in paludi viene chiamato anche gas di palude. Il principale componente del gas naturale è il metano, la più breve e leggera fra le molecole degli idrocarburi. Può anche contenere idrocarburi gassosi più pesanti come etano, propano e butano, e altri gas, in varie quantità. Solfuro di idrogeno e mercurio sono contaminanti comuni nel gas, che devono essere rimossi prima di qualsiasi utilizzo. Il gas naturale è una delle principali fonti utilizzate per la produzione di energia elettrica tramite l'utilizzo di turbine a gas e turbine a vapore coprendo il 23% del fabbisogno energetico mondiale.

Compresso il gas naturale assieme al gas propano liquido (GPL) viene usato come alternativa meno inquinante ad altri carburanti per automobili o usato nelle zone rurali, dove non ci sono collegamenti alle tubature del gas, e con griglie portatili.

Sempre per uso domestico il gas naturale viene fornito alle abitazioni dove viene utilizzato in cucina e per il riscaldamento. Il gas, in natura inodore e incolore, viene, prima di essere immesso nelle reti cittadine, miscelato deliberatamente con un gas con un forte e cattivo odore al fine di renderlo immediatamente riconoscibile all'olfatto ed evitare quindi esplosioni a causa di inavvertibili sacche di gas.

Nell'industria il gas metano non viene odorizzato. Nelle miniere vengono installati sensori e l'ambiente minerario è specificamente sviluppato per evitare fonti di accensione del gas.

Il gas naturale non è tossico, anche se alcuni pozzi generano 'gas acido' contenente solfuro di idrogeno; questo tipo di gas, se non trattato, è tossico.

---

### 6.2.1. Impatti ambientali del gas naturale

La combustione di gas genera, anche se in misura minore rispetto agli altri combustibili fossili, gas serra che contribuiscono al surriscaldamento del pianeta.

L'estrazione di gas (ma anche di petrolio) porta a una diminuzione della pressione nella riserva sotterranea. Ciò può portare ad una subsidenza del terreno (movimento di sprofondamento lento di una regione) che può danneggiare l'ecosistema, i corsi d'acqua, la rete idrica e fognaria e causare cedimenti nelle fondamenta degli edifici.

L'estrazione e il trasporto del gas possono inoltre generare ulteriore inquinamento.

La principale difficoltà nell'utilizzo del gas naturale è il trasporto. I gasdotti sono economici, ma non permettono l'attraversamento di oceani. Vengono utilizzate anche navi per il trasporto di gas naturale liquefatto, ma hanno costi più alti e problemi di sicurezza. La distanza tra luogo di produzione e di utilizzo finale incide in maniera tale da rendere poco elastico il prezzo finale del metano.

In molti casi, come ad esempio nei pozzi petroliferi in Arabia Saudita, il gas naturale che viene recuperato durante l'estrazione del petrolio, non potendo essere venduto con profitto, viene bruciato direttamente sul posto. Questa dispendiosa pratica è illegale in molti stati, poiché rilascia nell'atmosfera terrestre gas serra. Invece di venire bruciato, il gas, viene re-iniettato nel terreno in attesa di una eventuale futura estrazione e per mantenere alta la pressione sotterranea durante il pompaggio del petrolio. Il gas naturale viene spesso compresso per essere immagazzinato.

Secondo stime, le riserve mondiali di gas naturale, se si manterranno i livelli di consumo attuali, dovrebbero esaurirsi fra circa 70 anni scarsi.

### 6.3. Il carbone

Il carbone (Fig. 36) è il combustibile fossile più diffuso nel mondo e viene estratto dal terreno sia in miniere che in miniere a cielo aperto. È un combustibile pronto all'uso, formato da roccia sedimentaria nera o bruna. È composto principalmente da carbonio e idrocarburi, oltre a vari altri elementi

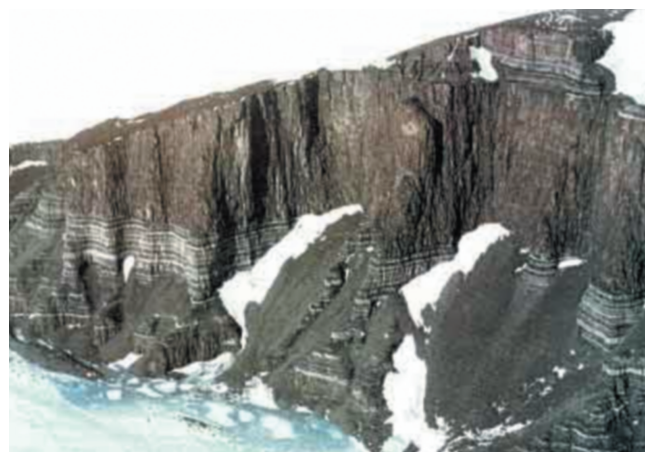


Figura 36. Giacimento di carbone

assortiti, compresi alcuni a base di zolfo. Il carbone è formato da resti vegetali che sono stati compressi, induriti, alterati chimicamente e trasformati da calore e pressione in tempi geologici. Mano a mano che processi geologici applicano pressione alla torba, questa si trasforma nel tempo in lignite, poi in litantrace bituminoso e infine in antracite. Il carbone è una delle principali fonti di energia dell'umanità, e anche uno dei modi più inquinanti di produrla.

Circa il 22% dell'energia elettrica mondiale nel 2005 è prodotta bruciando carbone (la metà dell'energia elettrica prodotta dagli Stati Uniti deriva dal carbone).

Dal carbone è possibile ottenere altri tipi di combustibile, più facilmente trasportabili e con un maggior rendimento; i processi utilizzati per raffinarlo sono la gassificazione e la liquefazione.

---

### *Gassificazione*

In passato, il carbone veniva convertito in gas, poi distribuito per mezzo di tubature ai clienti, per poter esser bruciato per illuminazione, riscaldamento e cucina. Oggi vengono usati gas naturali, come il metano, perché più sicuri. La gassificazione rimane comunque una possibilità per un utilizzo futuro del carbone, visto che in genere brucia a temperature più alte ed è più pulito del carbone convenzionale.

### *Liquefazione*

Il carbone può essere convertito anche in combustibili liquidi come benzina o gasolio, attraverso svariati procedimenti di sintesi indiretta, diretta di idrocarburi liquidi.

Un'ulteriore procedimento è la carbonizzazione a bassa temperatura; il carbone viene trasformato in coke a temperature fra i 450 e i 700°C, invece degli 800-1000° del coke utilizzato in metallurgia. Questa temperatura facilita la produzione di catrami più ricchi di idrocarburi leggeri dei catrami normali. Il catrame viene poi trasformato in carburante.

### **6.3.1. Impatti ambientali del carbone**

La combustione del carbone, come quella di ogni altro composto del carbonio, produce anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), oltre a quantità variabili di anidride solforosa, a seconda del luogo dal quale è stato estratto. L'anidride solforosa reagisce con l'acqua, formando acido solforico. Le emissioni della combustione di carbone in centrali elettriche rappresenta la più grande fonte artificiale di diossido di carbonio, che secondo la maggior parte degli studiosi del clima è causa primaria del riscaldamento globale. Inoltre, queste emissioni reagiscono con il vapore acqueo ed eventualmente tornano sulla terra in forma di pioggia acida. Le centrali elettriche moderne utilizzano varie tecniche per limitare la nocività dei loro scarichi e per aumentare l'efficienza della combustione, anche se queste tecniche non sono utilizzate in molti paesi gravando sul costo degli impianti.

Sebbene le tecnologie più recenti consentano di abbattere buona parte delle sostanze inquinanti e di sequestrare parte della CO<sub>2</sub> prodotta, bisogna considerare che i filtri e i materiali di consumo utilizzati dovranno essere in qualche modo smaltiti e conservati in discariche, rimettendo comunque in circolo, anche in forma diversa, i composti nocivi. Inoltre la combustione di carbone produce due volte e mezzo la quantità di CO<sub>2</sub> generata, ad esempio, dalla combustione di metano. E il processo di sequestro di un grande volume di anidride carbonica è oggi ancora molto costoso.

Inoltre nelle emissioni degli impianti sono presenti molti altri inquinanti compresi l'arsenico e il mercurio, che sono pericolosi se rilasciati nell'ambiente.

Il carbone contiene anche tracce di uranio e altri isotopi radioattivi naturali; sebbene siano presenti solo in tracce, bruciando grandi volumi di carbone una centrale emette nell'aria più radioattività di quella che emette una centrale nucleare di pari potenza.

Vi sono poi aspetti negativi che vanno al di là dell'inquinamento prodotto dalla combustione legati alla pericolosità delle miniere, alla convenienza dell'estrazione e all'utilizzo del carbone.



*Tassi di emissione di inquinanti dalle diverse fonti energetiche fossili non rinnovabili*

<b>Emissioni da per kWh</b>	<b>g di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>)</b>	<b>g di anidride solforosa (SO<sub>2</sub>)</b>	<b>g di diossido di azoto (NO<sub>2</sub>)</b>
Petrolio	800	5	1.8
Gas naturale	570	-	1.3
Carbone	950	7.5	2.8

*Riserve di fonti energetiche fossili attualmente disponibili*

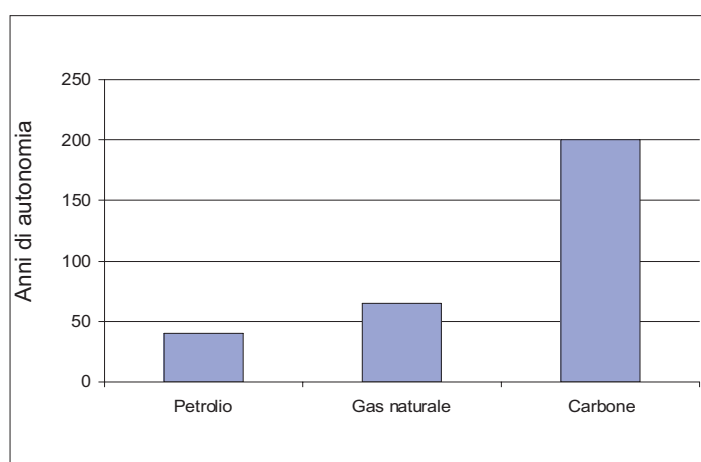


Figura 37. Riserve di fonti energetiche fossili Fonte: ENI, World Oil and Gas Review, 2002

## 6.4. L'energia nucleare

L'energia nucleare è l'energia sprigionata dalla materia quando i nuclei degli atomi che la costituiscono subiscono una trasformazione. Due sono i processi fondamentali per ottenere energia nucleare: la fissione e la fusione nucleare, le cui descrizioni sono riportate nella seguente tabella.

La fissione nucleare	Essa consiste nella scissione del nucleo atomico di alcuni elementi, come l'uranio-235 o il plutonio-239, a seguito del bombardamento con neutroni; la reazione, una volta innescata, si propaga autonomamente perché, in seguito alla scissione di un nucleo, si liberano alcuni neutroni, che, a loro volta, bombardano altri nuclei, e così via; e ciò avviene tanto rapidamente da causare un'esplosione. Nelle centrali nucleari la reazione a catena viene controllata sottraendo i neutroni in eccesso, in modo da poter immagazzinare l'energia liberata.
La fusione nucleare	E' il processo inverso di quello della fissione: consiste, infatti, nell'unione di nuclei di atomi leggeri per dar luogo a nuclei più pesanti. Le stelle sono "accese" proprio da reazioni di questo tipo. L'interesse per questa tecnologia è molto alto, visto che, quando e se si riuscirà ad applicarla in maniera controllata, fornirà enormi quantità di energia a basso costo e pulita.

### 6.4.1 Le centrali a fissione e l'ambiente

Anche la fissione nucleare può essere considerata una fonte energetica non rinnovabile. Le centrali nucleari (Fig. 38) sono simili in molti aspetti alle centrali termoelettriche; la differenza sostanziale



Figura 36. Giacimento di carbone

sta nel tipo di combustibile e di processo tecnologico che viene utilizzato per fornire calore e formare il vapore da inviare alle turbine.

L'elemento fissile usato per eccellenza è l'uranio-235. Il combustibile viene introdotto all'interno del reattore in un apposito alloggiamento, chiamato nocciolo, dove avviene la fissione mediante una reazione a catena, con sviluppo di una grande quantità di energia, emessa sotto forma di calore; un sistema di raffreddamento ad acqua pressurizzata asporta il calore prodotto nel reattore generando vapore surriscaldato che serve a far muovere la turbina per la produzione di energia elettrica. A seconda dei dettagli del sistema di trasporto del calore generato dal reattore, le centrali nucleari si suddividono in molti tipi diversi tra cui quelle ad acqua bollente, ad acqua pressurizzata e a gas-grafite.

L'impiego di materiali radioattivi rende necessaria una attenzione particolare in tutti i processi correlati al funzionamento di una centrale nucleare, dalla fornitura, lavorazione, stoccaggio, smaltimento dei residui radioattivi.

Una normale centrale nucleare genera potenze dell'ordine di 1000 MW al pari delle grandi centrali termoelettriche, e di fatto questa rappresenta oggi l'unica reale alternativa ad esse in termini di quantità di energia prodotta.

I costi di costruzione di una centrale nucleare sono molto elevati, ma una volta costruita produce energia a costi molto competitivi. Inoltre le centrali nucleari non sono legate alle logiche economiche e speculative che avvolgono il comparto petrolifero e a differenza delle termoelettriche, non hanno emissione di fumi perché non sfruttano un principio di combustione e non provocano quindi nessun inquinamento atmosferico.

Gli svantaggi maggiori di una centrale nucleare sono il combustibile nucleare residuo, le famose scorie radioattive. Quello dei rifiuti radioattivi è un problema complesso ma gestibile.

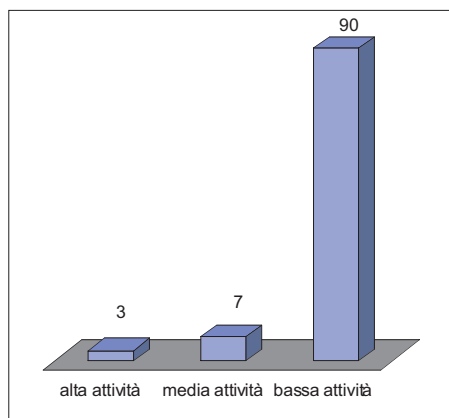


Figura 39. Rifiuti radioattivi per una centrale nucleare da 1000MW (m<sup>3</sup> all'anno)

La dimensione del problema è assai minore di quella dei rifiuti convenzionali. Ad esempio la produzione complessiva dei rifiuti radioattivi che verranno generati in Francia sino al 2020, cioè in pratica da tutte le attività nucleari, civili e militari, pregresse e attualmente in corso, sino alla loro conclusione (in un paese dotato di armamenti nucleari e dove oltre il 70% dell'energia elettrica è di origine nucleare), è quantitativamente minore di quella di rifiuti classificati pericolosi che vi è in Italia in un solo anno. Questi sottoprodotti sono una gamma di isotopi con tempo di dimezzamento molto vario con radioattività che richiede migliaia di anni per deca-

dere per frazioni piuttosto piccole, dell'ordine di qualche percento della quantità totale dei rifiuti radioattivi prodotti, e con un tempo di decadimento dell'ordine di alcune centinaia di anni per il rimanente dei rifiuti.

Per i rifiuti a lungo tempo di decadimento la soluzione di smaltimento oggi disponibile è rappresentata dalla collocazione in depositi geologici profondi, ad esempio in formazioni saline o argillose, che diano le necessarie garanzie di stabilità per i tempi richiesti.

Ad oggi, verificando nel frattempo le soluzioni alternative, i rifiuti a lungo tempo di decadimento sono collocati in depositi temporanei di superficie, progettati per garantire la massima sicurezza per alcune decine di anni.

Per quel che riguarda possibili incidenti, le centrali nucleari con reattori della quarta generazione sono impianti sempre più sicuri essendo capaci di spegnersi da soli qualora dovessero superarsi le soglie di sicurezza; sono stati introdotti sistemi passivi di raffreddamento del reattore e sistemi di contenimento che sfruttano per il loro funzionamento la gravità e la circolazione naturale senza richiedere alcuna alimentazione elettrica esterna.

#### 6.4.2. Il futuro dell'energia nucleare – la fusione

La centrale a fusione nucleare si basa su un principio differente ovvero quello della fusione di due atomi leggeri, generalmente trizio e deuterio ottenendo dal processo una enorme quantità di energia. E' lo stesso processo utilizzato dal Sole. Questo tipo di centrali è da anni allo studio di diversi gruppi di scienziati e tecnici, ma pur essendo riusciti ad avviare la reazione di fusione a oggi non si è ancora in grado di mantenerla stabile per tempi significativi.

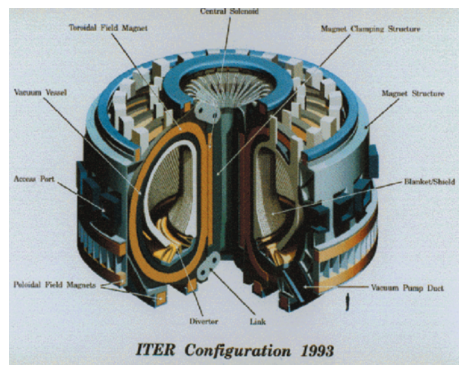


Figura 41. Schema di un apparecchio sperimentale per ottenere la fusione nucleare tramite confinamento magnetico

La fusione richiede temperature di lavoro talmente elevate da non poter essere contenuta in nessun materiale esistente. Il plasma di fusione viene trattenuto grazie a elevatissimi campi magnetici e le alte temperature vengono raggiunte con l'utilizzo di potenti laser.

Prossimamente la realizzazione della prima centrale elettrica a fusione nucleare controllata dovrebbe consentire di produrre più energia elettrica di quanta se ne consumi.

L'interesse per le centrali a fusione nucleare è molto alto perché:

- è la forma più "concentrata" di energia che si conosca, e per questo motivo prospetta tutta una serie di nuove applicazioni dirette oltre alla produzione di potenza elettrica. (prima tra tutte la propulsione spaziale).
- è una fonte di energia pulita non avendo scorie radioattive né dispersione termica apprezzabile e produce come rifiuti gas inerti non radioattivi.
- è energia sicura, in quanto ogni interferenza nel processo di fusione conduce inevitabilmente allo spegnimento della reazione.
- laddove realizzabile, non dipende dalla disponibilità di materie prime essendo il combustibile facilmente estratto dall'acqua di mare.

---

## 7. L'IDROGENO COME NUOVA ENERGIA

L'idrogeno, l'elemento più leggero e abbondante dell'universo, e assai raro sulla terra allo stato elementare a causa della sua estrema volatilità (si trova, ad esempio, nelle emanazioni vulcaniche, nelle sorgenti petrolifere, nelle fumarole), ma viceversa è molto diffuso sotto forma di composti (acqua, idrocarburi, sostanze minerali, organismi animali e vegetali) e può quindi essere prodotto a partire da diverse fonti.

L'interesse per il suo impiego come combustibile, sia per applicazioni stazionarie che per la trazione, deriva dal fatto che l'inquinamento prodotto è quasi nullo. Rispetto agli altri combustibili, l'idrogeno è un gas incolore, inodore, non velenoso, estremamente volatile e leggero: presenta quindi un ridotto contenuto energetico per unità di volume, mentre ha il più alto contenuto di energia per unità di massa. Comunemente si pensa all'idrogeno come ad una fonte di energia, in realtà ciò non è esatto in quanto deve essere estratto dall'acqua (elettrolisi) o da combustibili fossili (vari processi termochimici) e ciò comporta un consumo di energia, per questo è considerato un "vettore" o un "accumulatore" o anche un "memorizzatore" di energia. Potenzialmente può diventare uno dei migliori sistemi per il recupero di energia elettrica, perfino migliore dei sistemi idroelettrici, attualmente i più convenienti e quindi i più adottati allo scopo.

A fronte delle suddette qualità energetiche e soprattutto ambientali, l'introduzione dell'idrogeno come combustibile, e più in generale come vettore energetico, richiede che siano messe a punto le tecnologie necessarie per agevolare la produzione, il trasporto, l'accumulo e l'utilizzo.

Per quanto riguarda la produzione, le fonti primarie di partenza possono essere sia fossili che rinnovabili in modo da contribuire alla diversificazione ed all'integrazione tra i diversi tipi di energia.

### *Produzione da fonti fossili*

Le tecnologie di produzione dell'idrogeno a partire dai combustibili fossili sono mature e ampiamente utilizzate, anche se vanno ottimizzate da un punto di vista economico, energetico e di impatto ambientale. La produzione del gas viene effettuata attraverso successivi stadi di raffinazione e di frazionamento delle molecole degli idrocarburi fino alla completa eliminazione del carbonio. La produzione da fonti fossili, però, ha l'inconveniente di dar luogo – come prodotto di scarto – all'emissione di grandi quantità di CO<sub>2</sub>.

### *Produzione da fonti rinnovabili*

Nella produzione di idrogeno a partire da biomasse nessuno dei processi proposti ha ancora raggiunto la maturità industriale e le diverse alternative richiedono ancora un impegno notevole di ricerca, sviluppo e dimostrazione.

Per produrre l'idrogeno dall'acqua scindendo la stessa nei suoi componenti (idrogeno e ossigeno) si può operare attraverso diversi processi, tra i quali:

- l'elettrolisi (scissione dell'acqua in idrogeno e ossigeno grazie all'elettricità)
- la termolisi (scissione diretta dell'acqua in idrogeno e ossigeno nelle giuste condizioni di temperatura e pressione)

Sono allo studio cicli termochimici che, si spera, possano servire a produrre idrogeno da fonti di calore ad alta temperatura, come il solare termico e il fotovoltaico.

L'idrogeno si può produrre anche nelle centrali nucleari in special modo nei reattori di tipo a gas ad alta temperatura o in quelli che utilizzano un sistema ibrido reattore-acceleratore. Questi sono infatti ca-

---

ratterizzati da una temperatura di uscita del vapore più alta rispetto ai reattori convenzionali, e presentano il vantaggio di un maggior rendimento energetico, facilitando la produzione di idrogeno.

### *L'utilizzo*

Le migliori fonti di energia sono quelle rinnovabili, però hanno l'inconveniente di essere discontinue: a volte non c'è vento, fiumi con portata non ottimale, sole coperto, a volte invece di queste fonti ve ne sono in eccesso, sfruttando le caratteristiche di "memorizzatore di energia" dell'idrogeno si potrebbero rendere le fonti rinnovabili pienamente sfruttabili, non solo per ottenere energia: se ci fosse idrogeno in eccesso potrebbe essere usato per ottenere prodotti chimici e/o industriali come ammoniaca (oggi si ottiene da idrogeno petrolifero soprattutto per produrre fertilizzanti), metanolo (oggi si ottiene da petrolio) ecc. ottenendo così un risparmio/non utilizzo di combustibili fossili (fonte esauribile ed inquinante nell'utilizzo). Quindi l'idrogeno, allo stato attuale, non è una fonte primaria di energia ma non è neanche un semplice vettore (come lo è ad es. la benzina) in quanto permette il recupero di energia altrimenti dispersa e per questo può essere paragonato a tutti i sistemi che permettono il recupero e il risparmio energetico.

L'idrogeno può soddisfare le diverse esigenze energetiche legate al settore dei trasporti, a quello elettrico ed a quello termico. Nel *settore dei trasporti*, l'impiego dell'idrogeno può seguire due diverse strade: la prima è l'utilizzazione come combustibile in un motore a combustione interna, in questo modo i centri urbani verrebbero "liberati" da buona parte dei gas di scarico che vengono emessi quotidianamente sulle strade. La seconda possibilità è invece quella di sfruttare l'idrogeno per produrre l'energia elettrica in grado di alimentare un motore elettrico a sua volta destinato alla produzione di energia meccanica. Per tale scopo si utilizzano le celle a combustibile, cioè generatori elettrochimici capaci di convertire, direttamente e in modo continuo, l'energia chimica di un combustibile in energia elettrica. Il calore emesso dalle reazioni elettrochimiche può essere recuperato ed utilizzato.

Questo uso risulta particolarmente interessante anche per la generazione elettrica. In particolare, la generazione potrebbe consentire, oltre la produzione di energia elettrica, anche la produzione abbinata di calore, con l'utilizzo di apparecchiature di cogenerazione.

Attualmente la produzione dell'idrogeno non è competitiva con il prezzo dei combustibili fossili. Dobbiamo però considerare che il petrolio facilmente estraibile è sempre più scarso e che quello ottenibile da giacimenti meno accessibili farà lievitare i prezzi.

Inoltre, lo sviluppo dei paesi in via di industrializzazione porterà a un incremento della domanda di energia e, quindi, di combustibili.

Se a ciò aggiungiamo l'orientamento dei paesi industrializzati, indirizzato verso un'imposizione fiscale sui danni ambientali (la cosiddetta carbon tax, già introdotta nel nostro paese), anche per cercare di rispettare gli accordi di Kyoto, ecco diventare meno ipotetica l'alternativa idrogeno.

Altro elemento da considerare è la progressiva diffusione delle centrali energetiche alternative (in particolare geotermico, eolico e fotovoltaico), e lo sviluppo della tecnologia delle celle a combustibile.

Tuttavia ancora per alcuni decenni i combustibili fossili rappresenteranno la fonte energetica maggiormente utilizzata, con cospicue emissioni di CO<sub>2</sub> e altri inquinanti, seguita dall'energia idroelettrica e dalla fissione nucleare prima di fare ricorso alle fonti definite alternative, vale a dire compatibili con la conservazione dell'ambiente e sostenibili nel tempo (ossia rinnovabili) che faranno decollare l'utilizzo su vasta scala dell'idrogeno.

Superati i problemi tecnici, le celle a combustibile hanno dimostrato di essere una soluzione ideale per la produzione di energia in città per l'alta efficienza elettrica e termica, le emissioni inquinanti molto ridotte e l'abbattimento dei costi e delle perdite di trasporto.

---

## 8. L'USO RAZIONALE DELL'ENERGIA - IL RISPARMIO ENERGETICO DOMESTICO

Il risparmio energetico si consegue attraverso un utilizzo più razionale delle fonti energetiche con eliminazione degli sprechi ed una maggiore attenzione ai rendimenti delle trasformazioni energetiche. Esso viene considerato una forma di fonte di energia rinnovabile, immediata e accessibile a tutti, con tempi di recupero dell'investimento inferiori ad altre tecnologie energetiche. I consumi domestici di energia per il riscaldamento, l'acqua calda, la cucina, gli elettrodomestici, ecc. coprono più di un quinto degli usi energetici finali totali. Secondo recenti studi una famiglia potrebbe risparmiare sulle spese sostenute per tali consumi senza fare particolari rinunce, semplicemente usando meglio l'energia e a tal fine il mercato offre una vasta gamma di prodotti tecnicamente molto più avanzati rispetto a qualche anno fa, che permettono di economizzare energia a vantaggio anche della qualità dell'ambiente. Intraprendere dei lavori di risparmio energetico significa:

- migliorare l'efficienza energetica nelle abitazioni per ridurre i consumi di energia;
- migliorare l'isolamento dell'appartamento accrescendo il suo comfort;
- partecipare allo sforzo nazionale per ridurre sensibilmente i consumi di combustibile da fonte esauribile
- proteggere l'ambiente e contribuire alla riduzione dell'inquinamento.

Per raggiungere questi obiettivi si sono avviati, in questi ultimi anni, diversi programmi rivolti ad un uso razionale dell'energia negli edifici. Tali programmi prevedono sia migliori criteri di progettazione nelle nuove costruzioni, più attenti all'aspetto energetico, sia interventi di contenimento dei consumi sul patrimonio edilizio esistente.

Nella seguente tabella sono riportati alcuni consigli per il risparmio energetico nelle case:

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>❖ Eseguendo interventi di isolamento termico, tramite un sottotetto e doppi vetri termoisolanti, si può ridurre il consumo di combustibile per il riscaldamento nelle abitazioni, contribuire alla riduzione dell'emissione di gas inquinanti e risparmiare fino al 40% sulle spese di riscaldamento;</li><li>❖ Utilizzando lampade a scarica elettrica in gas (lampade ad alta efficienza) e non ad incandescenza (le comuni lampadine economiche all'acquisto, ma più costose per quanto riguarda i consumi) si ottiene la stessa quantità di luce con una spesa minore per i consumi;</li><li>❖ Acquistando elettrodomestici di ultima generazione (classe A ) in un anno si spenderebbe per l'energia elettrica circa la metà di quanto si spenderebbe con vecchi modelli (classe G).</li></ul> |
|---|

---

## 9. LE RADIAZIONI

Un campo elettromagnetico è la propagazione nello spazio di campi elettrici e di campi magnetici variabili nel tempo. Ogni qual volta si verifica una variazione di campo elettrico o di campo magnetico si genera nello spazio un campo elettromagnetico che si propaga a partire dalla sorgente. Lo spettro elettromagnetico di un campo elettromagnetico è l'insieme di tutte le radiazioni con frequenza diversa, ognuna delle quali è generata da un campo elettromagnetico ad una determinata frequenza. In base alla frequenza le radiazioni generate da un campo elettromagnetico si distinguono in:

- Radiazioni ionizzanti con frequenze maggiori di 300 GHz (raggi ultravioletti, raggi X e raggi gamma) che, per la loro elevata energia sono in grado di rompere i legami molecolari delle cellule e possono indurre mutazioni genetiche.
- Radiazioni non ionizzanti generate da un campo elettromagnetico con frequenza compresa tra 0 e 300 GHz (pari a  $3 \times 10^{11}$  Hz) che non sono in grado di rompere direttamente i legami molecolari delle cellule perché non possiedono energia sufficiente e producono principalmente effetti termici.

### 9.1. Radiazioni ionizzanti

Con radiazione ionizzante si intende qualsiasi tipo di radiazione in grado di produrre direttamente o indirettamente la ionizzazione degli atomi e delle molecole del mezzo attraversato, mediante l'espulsione di elettroni. Si dicono radiazioni direttamente ionizzanti quelle dovute a particelle cariche (elettroni, protoni, particelle alfa ecc.) che hanno energia sufficiente a provocare la ionizzazione per collisione. Si dicono particelle indirettamente ionizzanti quelle prive di carica (neutroni, fotoni, ecc.) che interagendo con la materia possono mettere in moto particelle direttamente ionizzanti o dar luogo a reazioni nucleari. Oltre all'effetto di ionizzazione, le radiazioni ionizzanti danno luogo anche al fenomeno della eccitazione, per cui all'atomo o molecola del mezzo attraversato, viene ceduta energia a causa dell'interazione elettrica con le particelle cariche, sufficiente solo a passare dallo stato energetico fondamentale ad un livello energetico superiore, ovvero eccitato.

Quando un tessuto biologico viene attraversato da radiazioni ionizzanti, in esso si generano una serie di fenomeni dovuti alla cessione di energia dalle radiazioni al mezzo stesso, che possono concludersi con la manifestazione di un effetto.

#### *Irradiazione esterna*

Le radiazioni provenienti da una sorgente esterna al corpo umano colpiscono la cute e penetrano verso i tessuti e gli organi sottostanti, interagendo con la materia. A seguito di tale interazione vi è deposizione di energia nei tessuti (dose assorbita) e attenuazione della radiazione man mano che essa penetra verso il profondo, con modalità che dipendono dalla tipologia di radiazione considerata e di tessuto attraversato.

#### *Sorgenti naturali*

Una prima fonte di irradiazione esterna è costituita dai raggi cosmici, radiazioni ad elevata energia provenienti dallo spazio che giungono nell'atmosfera terrestre. Questi, detti raggi cosmici primari, interagiscono con i nuclei atomici degli elementi costitutivi dell'atmosfera, producendo particelle

---

ionizzanti e radiazione elettromagnetica, detti raggi cosmici secondari. La radiazione cosmica è abbastanza costante nel tempo a livello del mare, ma risente della latitudine geomagnetica e dell'altitudine.

Una seconda sorgente naturale di irradiazione esterna è dovuta alla presenza di materiali radioattivi nelle rocce costituenti la crosta terrestre che varia da luogo a luogo in funzione della composizione del terreno.

### *Irradiazione interna*

Sostanze radioattive naturali

Si dovrebbe più propriamente parlare di radionuclidi naturali (Potassio-40 e Carbonio-14) e di radioelementi naturali (Uranio, Torio, Radio, Radon).

Negli anni recenti è risultato che un importante contributo all'irradiazione interna deriva:

- Dall'inalazione dei discendenti a vita breve del Radon.
- Da abitazioni costruite con materiali granitici o tufacei possono esporre a Radon e i suoi discendenti.
- Dalla combustione del carbon fossile che dà luogo a scarico in atmosfera di fumi contenenti radioelementi.

Quando dei materiali radioattivi vengono rilasciati nell'ambiente vari fenomeni contribuiscono a determinare il loro destino nell'ambiente. I fenomeni fisici sono principalmente responsabili di effetti di trasporto, dispersione, diluizione oppure deposito e accumulo. Fenomeni di assorbimento e scambio ionico favoriscono la fissazione di molecole e di ioni per tempi più o meno lunghi, mentre fenomeni biologici causano l'entrata e l'uscita dalle cellule di determinate molecole o ioni con ricambio più o meno rapido in tutte le strutture viventi. Le sostanze radioattive nell'ambiente passano attraverso varie componenti inorganiche e organiche con percorsi più o meno complessi (ecocicli), alcuni dei quali giungono all'uomo che viene così esposto a radiazioni ionizzanti.

## **9.2. Radiazioni non ionizzanti**

All'interno delle radiazioni non ionizzanti si distinguono per importanza applicativa i seguenti intervalli di frequenza:

- Frequenze estremamente basse pari a 50-60 Hz. La principale sorgente è costituita dagli *elettrodotti*, che trasportano energia elettrica dalle centrali elettriche di produzione agli utilizzatori;
- Radiofrequenze comprese tra 300 KHz e 300 MHz. Le principali sorgenti sono costituite dagli impianti di ricetrasmisione radio/TV;
- Microonde con frequenze comprese tra 300 MHz e 300 GHz. Le principali sorgenti di microonde sono costituite dagli impianti di telefonia cellulare e dai ponti radio.

### *Elettrodotti*

Tutti i conduttori di alimentazione elettrica, dagli elettrodotti ad alta tensione fino ai cavi degli elettrodomestici, producono campi elettrici e magnetici dello stesso tipo. La loro frequenza è sempre 50 Hz (60 Hz negli USA): a questa frequenza il campo elettrico (Volt a metro) e quello magnetico (microTesla) sono indipendenti; è così possibile trovare molto alto il campo elettrico e assente quello magnetico o viceversa.

Il campo elettrico di queste sorgenti è facilmente schermato dalla maggior parte degli oggetti. Sono



---

un buono schermo non solo tutti i conduttori (metalli), ma anche la vegetazione e le strutture murarie. Inoltre si ottiene una riduzione del campo anche quando lo schermo non è continuo, e addirittura “all’ombra” di oggetti conduttori come alberi, recinzioni, siepi, pali metallici ecc.; per questo motivo non si è mai ritenuto che il campo elettrico generato da queste sorgenti possa produrre un’esposizione intensa e prolungata della popolazione. Esposizioni significative a questo campo elettrico si possono avere solo per alcuni tipi di attività professionali.

Il campo magnetico prodotto dagli impianti elettrici, invece, è poco attenuato da quasi tutti gli ostacoli normalmente presenti, per cui la sua intensità si riduce soltanto, in maniera solitamente abbastanza ben predicibile, al crescere della distanza dalla sorgente. Per questo motivo gli elettrodotti possono essere causa di un’esposizione intensa e prolungata di coloro che abitano in edifici vicini alla linea elettrica. L’intensità del campo magnetico è direttamente proporzionale alla quantità di corrente che attraversa i conduttori che lo generano pertanto non è costante ma varia di momento in momento al variare della potenza assorbita (i consumi).

Negli elettrodotti ad alta tensione non è possibile definire una distanza di sicurezza uguale per tutti gli impianti, proprio perché non tutte le linee trasportano la stessa quantità di energia, ma tenendo conto delle caratteristiche tipiche di questi impianti si possono dare delle utili indicazioni di massima:

- per nessun tipo di elettrodotto si possono riscontrare campi magnetici superiori ai limiti di legge nelle zone accessibili in prossimità dei cavi;
- il campo magnetico scende comunque al di sotto dei livelli unanimemente considerati trascurabili (0.2 microTesla) a distanze superiori ai 50 metri per le linee a 130 kV, superiori ai 100 metri per quelli a 220 kV, superiori ai 150 metri per quelli a 380 kV;
- nel caso delle cabine di trasformazione campi magnetici significativi si possono trovare soltanto entro distanze di qualche metro dal perimetro della cabina stessa: nel caso di appartamenti posizionati sopra la cabina normalmente i campi magnetici sono molto contenuti, ad eccezione di una piccola regione di pochi metri quadrati posta sulla verticale del trasformatore; campi un po’ più intensi si possono trovare nelle stanze direttamente adiacenti a tali impianti.

#### *Impianti di ricetrasmisione radio/TV*

Gli impianti di trasmissione e ricezione per la diffusione delle trasmissioni radiofoniche e televisive trasmettono onde radio con frequenze comprese tra alcune centinaia di kHz e alcune centinaia di MHz. A partire da pochi metri di distanza dalle antenne si genera un’onda in cui il campo elettrico e quello magnetico variano insieme.

Si può così utilizzare indifferentemente l’unità di misura del campo elettrico (V/m), quella del campo magnetico (microTesla) o anche quella della potenza dell’onda (W/m<sup>2</sup>) per definirne l’ampiezza. Questa diminuisce rapidamente all’aumentare della distanza dalle antenne emittenti ed è inoltre attenuata sia dalle strutture murarie che dalla vegetazione presente.

Questi impianti servono generalmente un’area molto vasta con trasmettitori di grande potenza (10.000-100.000 Watt) posizionati su dei rilievi che godono di una buona vista sull’area servita. L’aumento della potenza di trasmissione migliora la qualità del segnale ricevuto e l’ampiezza della zona coperta: questo fatto può indurre ad utilizzare potenze superiori a quelle autorizzate.

Gli impianti di diffusione, normalmente collocati lontani dai centri abitati, spesso ricevono il segnale da amplificare tramite collegamenti in alta frequenza, effettuati con impianti molto direttivi e di piccola potenza, direttamente dagli studi di trasmissione. Così, sopra questi edifici, spesso collocati nei

---

centri urbani, compaiono normalmente antenne di foggia varia, che producono campi dello stesso tipo di quelli diffusi dai ripetitori, ma di intensità assai più contenuta e diretti in maniera da non incontrare ostacoli nel loro cammino.

#### *Impianti di telefonia cellulare*

La telefonia cellulare utilizza onde radio a frequenza un po' più alta (900-2100 Mhz), ma non sostanzialmente diversa, da quella degli impianti di tipo televisivo. Ogni stazione però copre in questo caso un'area molto ridotta: infatti il numero di telefonate che l'impianto riesce a supportare contemporaneamente è limitato.

E' quindi necessario che il numero di utenti all'interno dell'area servita non sia troppo elevato per evitare congestioni di traffico; inoltre, poiché la trasmissione è bidirezionale, non è possibile migliorare la qualità del servizio aumentando la potenza del trasmettitore, poiché questo migliorerebbe la qualità della ricezione solo in una direzione (dalla stazione verso il telefonino) ma non nell'altro verso (dal telefonino alla stazione). La potenza trasmessa è sostanzialmente uguale per tutti gli impianti e il diverso livello di copertura viene ottenuto variando la qualità dell'antenna (che influenza sia la trasmissione che la ricezione). Per questo motivo le stazioni radio base sono equipaggiate con antenne che dirigono la poca potenza impiegata soprattutto verso gli utenti lontani, quindi in orizzontale. L'intensità delle onde dirette verso il basso è meno di un centesimo di quella trasmessa nella direzione di massimo irraggiamento: nelle aree sotto le antenne non si trovano dunque mai livelli elevati di campo elettromagnetico. Nonostante le dimensioni questi impianti irradiano potenze molto contenute che vanno dai 500 W di una stazione con i vecchi impianti TACS ai 200 W di una stazione dual-band, mentre le nuove stazioni UMTS potranno funzionare con meno di 50 W emessi. Con queste potenze si possono trovare livelli di campo elettromagnetico superiori ai valori di tutela dell'attuale normativa (6 V/m) per 40-80 metri davanti alle antenne, normalmente al di sopra dei tetti dei palazzi vicini. Le modalità con cui tale stazioni irradiano i campi dell'area circostante sono molto ben predicibili, in modo che, con un progetto sufficientemente dettagliato degli impianti è possibile garantire che i livelli di campo elettromagnetico in tutti i gli edifici circostanti, così come nelle aree occupate stabilmente da comunità di persone, siano inferiori ai limiti di legge. La potenza emessa dalle stazioni radio base non è costante nel tempo: cresce quando il traffico telefonico è intenso, mentre quando questo è scarso, ad esempio la notte, si riduce fino a un valore minimo tipicamente di 15-50 W. Anche il telefonino emette lo stesso tipo di onde delle stazioni radio base con potenze sensibilmente minori (1-2 W).

---

**QUESTIONARIO DI AUTOVALUTAZIONE AREA TEMATICA:  
“ENERGIA E RADIAZIONI”**

- 1) *Quali dispositivi assorbono e trasformano le radiazioni solari direttamente in energia elettrica?*
  - a) Collettori a concentrazione
  - b) Pannelli solari termici
  - c) Pannelli fotovoltaici
  
- 2) *Che cosa è il generatore di elettricità di un aerogeneratore?*
  - a) Un componente dell'aerogeneratore che trasforma la rotazione lenta delle pale in una rotazione più veloce.
  - b) Un componente dell'aerogeneratore che trasforma l'energia meccanica in energia elettrica.
  - c) Un dispositivo di sicurezza che blocca il funzionamento dell'aerogeneratore in caso di malfunzionamento e di sovraccarico.
  
- 3) *La temperatura della Terra aumenta di circa un grado ogni*
  - a) 10 metri di profondità.
  - b) 30 metri di profondità.
  - c) 100 metri di profondità.
  - D.200 metri di profondità.
  
- 4) *La produzione di energia idroelettrica provoca emissioni gassose o liquide che possano inquinare l'aria o l'acqua.*
  - a) Vero
  - b) Falso
  
- 5) *L'energia geotermica ottenuta da fluidi vettori ad alta potenza viene utilizzata per*
  - a) Usi termali, con scopi terapeutici e/o ricreativi.
  - b) Produzione di energia elettrica.
  - c) Uso domestico (riscaldamento, acqua calda).
  
- 6) *Supponendo a partire da oggi di continuare l'estrazione del petrolio al ritmo attuale, quindi senza tenere conto della continua crescita della domanda mondiale, che si colloca intorno al 2% annuo, per quanto tempo sarà ancora disponibile?*
  - a) Per circa 200 anni
  - b) Per circa 40 anni
  - c) Per circa 400 anni
  
- 7) *Quale di queste tre fonti di energia non rinnovabile ha il maggior tasso di emissione di anidride carbonica anidride solforosa e diossido di azoto per grammo?*
  - a) Petrolio
  - b) Gas naturale
  - c) Carbone

---

8) *Dai rifiuti si può ottenere gas mediante fermentazione dei rifiuti stessi in discarica.*

- a) Vero
- b) Falso

9) *L'idrogeno può essere utilizzato come*

- a) una fonte di energia rinnovabile.
- b) una fonte di energia non rinnovabile.
- c) un “vettore” o un “memorizzatore” di energia.

10) *Le radiazioni ionizzanti hanno frequenze*

- a) con frequenza compresa tra 150 e 300 GHz
- b) maggiori di 300 GHz
- c) con frequenza compresa tra 0 e 150 GHz

**Risposte al questionario:** 1) C; 2) B; 3) B; 4) B; 5) B; 6) B; 7) C; 8) A; 9) C; 10) B;

---

## RIFERIMENTI NORMATIVI

### ENERGIA

- UNFCCC, Convenzione Quadro dell'ONU sui cambiamenti climatici del 1992
- Protocollo Kyoto approvato alla 3<sup>a</sup> Conferenza delle Parti della UNFCCC del 1997

#### *Normativa Europea*

- Direttiva 2004/8/CE dell'11 febbraio 2004, sulla promozione della cogenerazione basata su una domanda di calore utile interno dell'energia e che modifica la direttiva 92/42/CEE
- Decisione della Commissione 2004/156/CE del 29 gennaio 2004, linee guida per il monitoraggio e la comunicazione delle emissioni di gas a effetto serra ai sensi della direttiva.
- Direttiva 2003/87/CE del 13 ottobre 2003, che istituisce un sistema per lo scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra nella Comunità.
- Decisione del Consiglio 2002/358/CE del 25 aprile 2002, riguardante l'approvazione a nome della Comunità Europea, del protocollo di Kyoto allegato alla convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici e l'adempimento congiunto dei relativi impegni.
- Direttiva 2003/30/CE dell'8 maggio 2003 sulla promozione dell'uso dei biocarburanti o di altri carburanti rinnovabili nei trasporti.
- Direttiva 2003/77/CE dell'11 agosto 2003 relativa all'omologazione dei veicoli a motore a due o a tre ruote.
- Direttiva 2002/88/CE del 9 dicembre 2002, concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati Membri relative ai provvedimenti da adottare contro l'emissione di inquinanti gassosi e articolato inquinante prodotti dai motori a combustione interna destinati all'installazione su macchine mobili non stradali.
- Direttiva 91/441/CEE del 26 giugno 1991, concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati Membri relative alle misure da adottare contro l'inquinamento atmosferico con le emissioni dei veicoli a motore.
- Direttiva 98/69/CE del 17 giugno 1997 relativa alle misure da adottare contro l'inquinamento atmosferico da emissioni dei veicoli a motore.
- Direttiva 97/24/CE del 17 giugno 1997 relativa a taluni elementi o caratteristiche dei veicoli a motore a due o a tre ruote.
- Decisione della Commissione 2004/20/CE del 23 dicembre che istituisce "Agenzia esecutiva per l'energia intelligente"
- Decisione n. 1230/2004/CE del 26 giugno 2003 che adotta un programma pluriennale di azioni nel settore dell'energia: "Energia intelligente-Europa" (2003-2006)
- Direttiva 2003/66/CE del 3 luglio 2003 che riguarda l'etichettatura indicante il consumo d'energia dei frigoriferi elettrodomestici, dei congelatori elettrodomestici e delle relative combinazioni.
- Decisione del Consiglio 2003/269/CE dell'8 aprile 2003, concernente l'accordo tra il governo degli Stati Uniti d'America e la Comunità Europea per il coordinamento di programmi di etichettatura relativa ad un uso efficiente dell'energia per le apparecchiature per ufficio.
- Direttiva 2002/91/CE del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia.

---

## *Normativa Nazionale*

- L. 15 dicembre 2004 n. 308 Delega al Governo per il riordino, il coordinamento e l'integrazione della legislazione in materia ambientale e misure di diretta applicazione.
- L. 30 dicembre 2004 n. 316 Applicazione della direttiva 2003/87/CE in materia di scambio di quote di emissione dei gas ad effetto serra nella Comunità Europea.
- Decreto Legge 12 novembre 2004 n. 273 Disposizioni urgenti per l'applicazione della direttiva 2003/87/CE in materia di scambio di quote di emissione dei gas ad effetto serra nella Comunità Europea.
- L. 23 agosto 2004 n. 239 Riordino del settore energetico, nonché delega al governo per il riassetto delle disposizioni vigenti in materia di energia.
- Decreto Ministeriale 20 luglio 2004 Nuova individuazione degli obiettivi quantitativi nazionali di risparmio energetico e sviluppo delle fonti rinnovabili.
- D.lgs 21 maggio 2004 n.171 Attuazione della direttiva 2001/81/CE relativa ai limiti nazionali di emissione di alcuni inquinanti atmosferici.
- D.M. 24 maggio 2004 Attuazione dell'art. 17 della L. 1° agosto 2002 n.166 in materia di contributi per la sostituzione del parco autoveicoli a propulsione tradizionale con veicoli a minimo impatto ambientale.
- L. 9 gennaio 1991 n. 9 Norme per l'attuazione del nuovo piano energetico nazionale: aspetti istituzionali, centrali idroelettriche ed elettrodotti, idrocarburi e geotermia, autoproduzione e disposizioni fiscali.
- D.lgs 16 marzo 1999 n.79 Attuazione della direttiva 96/92/CE recante norme per il mercato interno dell'energia elettrica.
- Decreto del Ministro dell'industria, del commercio e dell'artigianato, di concerto con il Ministro dell'ambiente 11 novembre 1999 Direttive per l'attuazione delle norme in materia di energia elettrica da fonti rinnovabili (modificato e integrato dal Decreto 18 marzo 2002)
- D.M. 21/12/2001 Programma di diffusione delle fonti energetiche rinnovabili, efficienza energetica e mobilità sostenibile nelle aree naturali protette.
- D.M. 19 novembre 1997 n. 503 Regolamento recante norme per l'attuazione delle direttive 89/369/CEE e 89/429/CEE concernenti la prevenzione dell'inquinamento atmosferico provocato dagli impianti di incenerimento dei rifiuti urbani e la disciplina delle emissioni e delle condizioni di combustione degli impianti di incenerimento di rifiuti urbani, di rifiuti speciali non pericolosi, nonché di taluni rifiuti sanitari.

## **RADIAZIONI IONIZZANTI**

- Decreto legislativo n. 230 del 17 marzo 1995 - Attuazione delle direttive Euratom 80/836, 84/467, 84/466, 89/618, 90/641 e 92/3 in materia di radiazioni ionizzanti.
- Decreto legislativo n. 187 del 26 maggio 2000 - Attuazione della direttiva 97/43/Euratom in materia di protezione sanitaria delle persone contro i pericoli delle radiazioni ionizzanti connesse ad esposizioni mediche“.
- Decreto legislativo 26 maggio 2000, n. 241 - Attuazione della direttiva 96/29/Euratom in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti.

---

## RADIAZIONI NON IONIZZANTI

### *Normativa Europea*

- Raccomandazione 1999/519/CE 12 luglio 1999
- Direttiva Europea per la protezione dei lavoratori dai cem

### *Normativa Nazionale*

- L. 22 febbraio 2001 n. 36 Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici
- D.P.C.M. 8 luglio 2003 Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz.
- D.P.C.M. 8 luglio 2003 Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti.
- Decreto legislativo n. 259 del 1 agosto 2003 Codice delle comunicazioni elettroniche
- L. 23 agosto 2004 n. 239 Riordino del settore energetico, nonchè delega al Governo per il riassetto delle disposizioni vigenti in materia di energia.

---

## DATI TECNICO-SCIENTIFICI DI RIFERIMENTO

Per l'approfondimento dei dati tecnico – scientifico dei temi trattati, si rimanda all'Annuario APAT dei dati ambientali (Sezione B – Settori produttivi / Sezione D – Condizioni ambientali) disponibile sul sito web dell'APAT all'URL:

[http://www.apat.it/site/it-IT/APAT/Pubblicazioni/Stato\\_Ambiente/Annuario\\_Dati\\_Ambientali/](http://www.apat.it/site/it-IT/APAT/Pubblicazioni/Stato_Ambiente/Annuario_Dati_Ambientali/)  
dove:

- il set di indicatori relativo all'Energia (schema 1), mette in evidenza l'aumento del contributo delle fonti rinnovabili e della cogenerazione e, dal 2001, una ripresa nei consumi di combustibili fossili, oltre alla conferma di dati strutturali del sistema energetico nazionale, come la bassa intensità energetica e la crescita del ruolo del gas naturale rispetto ai prodotti petroliferi.
- le Radiazioni ionizzanti (schema 2) sono suddivise in due categorie: sorgenti naturali e artificiali. In assenza di specifici eventi (esplosioni nucleari o incidenti) la maggior parte dell'esposizione della popolazione a radiazioni ionizzanti è di origine naturale, le cui componenti principali sono dovute ai prodotti di decadimento del radon, ai raggi cosmici e alla radiazione terrestre.
- le Radiazioni non ionizzanti sono suddivise in Campi elettromagnetici (schema 3) e Radiazioni luminose (schema 4).



*Schema 1 - Energia*

<b>Nome Indicatore</b>	<b>Finalità</b>
Emissioni di gas serra complessive e da processi energetici	Valutare il ruolo dei processi energetici rispetto alle emissioni di gas serra
Emissioni di gas serra da processi energetici per settore economico	Valutare l'andamento delle emissioni di gas serra da processi energetici per i diversi settori economici
Emissioni di anidride solforosa complessive e da processi energetici	Valutare il ruolo dei processi energetici rispetto alle emissioni di anidride solforosa
Emissioni di ossidi di azoto complessive e da processi energetici	Valutare il ruolo dei processi energetici rispetto alle emissioni di ossidi di azoto
Consumi finali e totali di energia per settore economico	Valutare l'andamento dei consumi totali di energia a livello nazionale e per settore economico
Consumi finali di energia elettrica per settore economico	Valutare l'andamento dei consumi di energia elettrica a livello nazionale e per settore economico
Rapporto tra i consumi finali di energia e i consumi totali di energia	Valutare l'efficienza complessiva della conversione dell'energia primaria dalle diverse fonti in energia utilizzabile
Consumi specifici medi di combustibile nella produzione di energia elettrica da fonti fossili	Valutare l'efficienza della conversione dell'energia primaria delle fonti fossili in elettricità per il consumo finale
Produzione lorda di energia elettrica da impianti di cogenerazione	Valutare il contributo degli impianti di cogenerazione alla produzione totale di energia elettrica
Intensità energetiche finali settoriali e totale	Valutare l'efficienza energetica dei sistemi economici
Consumi totali di energia per fonti primarie	Valutare il contributo delle diverse fonti energetiche primarie alla produzione di energia
Produzione di energia elettrica per fonte	Valutare il contributo delle diverse fonti energetiche alla produzione di energia elettrica
Produzione lorda di energia da fonti rinnovabili in equivalente fossile sostituito	Valutare il contributo delle fonti di energia pulite e non esauribili alla produzione totale di energia
Produzione lorda di energia elettrica degli impianti da fonti rinnovabili	Valutare il contributo delle fonti di energia pulite e non esauribili alla produzione totale di energia elettrica
Prezzi dei prodotti energetici	Valutare l'effetto degli andamenti del mercato internazionale delle fonti di energia e delle politiche del settore sui prezzi energetici
Entrate fiscali dai prodotti petroliferi	Valutare in quale misura i livelli di tassazione corrispondano ai costi esterni e favoriscano l'utilizzo di prodotti più puliti
Costi esterni della produzione di energia	Valutare i costi ambientali e sociali della produzione di energia

Schema 2 - Radiazioni ionizzanti

Nome Indicatore	Finalità
Attività lavorative con uso di materiali contenenti radionuclidi naturali (NORM)	Censire le fonti di pressione ambientale relative ai NORM
Strutture autorizzate all'impiego di radioisotopi	Documentare il numero di strutture, suddivise per tipologia d'impianto, autorizzate all'impiego di sorgenti di radiazioni, limitatamente all'impiego di categoria A (per la cui definizione si rimanda al D.Lgs.230/95 e s.m.i.), e loro distribuzione sul territorio nazionale
Impianti per trattamento dei rottami metallici (raccolta, deposito, fusione)	Monitorare il numero di impianti per il trattamento dei rottami metallici e valutare la quantità trattata
Impianti nucleari: attività di radioisotopi rilasciati in aria e in acqua	Monitorare l'emissione di radioattività, in aria e in acqua, nelle normali condizioni di esercizio degli impianti nucleari
Quantità di rifiuti radioattivi detenuti	Documentare tipologia e quantità di rifiuti radioattivi secondo la distribuzione nei siti di detenzione
Concentrazione di attività di radon indoor	Monitorare una delle principali fonti di esposizione alla radioattività per la popolazione
Dose gamma assorbita in aria per esposizioni a radiazioni cosmica e terrestre	Documentare entità e distribuzione della dose efficace per esposizione a radiazione gamma di origine cosmica e terrestre (due delle fonti di esposizione alla radioattività naturale), al fine di valutarne l'impatto sulla popolazione italiana. Documentare eventi o situazioni incidentali che possano comportare un aumento dell'esposizione della popolazione a radiazioni
Concentrazione di attività di radionuclidi artificiali in matrici ambientali e alimentari (particolato atmosferico, deposizioni umide e secche, latte)	Valutare la concentrazione media annua di attività di radionuclidi artificiali nel particolato atmosferico, nella deposizione al suolo e nel latte, finalizzata al controllo della radiocontaminazione ambientale
Dose efficace media individuale in un anno	Stimare i contributi delle fonti di esposizione alla radioattività (di origine naturale e antropica) della popolazione
Stato di attuazione delle reti di sorveglianza sulla radioattività ambientale	Valutare lo stato di attuazione dell'attività di sorveglianza sulla radioattività ambientale in Italia, relativamente alle reti esistenti, in conformità con programmi di assicurazione di qualità nazionali e internazionali

*Schema 3 -Campi elettromagnetici*

<b>Nome Indicatore</b>	<b>Finalità</b>
Densità impianti e siti per radiotelecomunicazione e potenza complessiva sul territorio nazionale	Quantificare le principali fonti di pressione sul territorio per quanto riguarda i campi RF
Sviluppo in chilometri delle linee elettriche,suddivise per tensione,e numero di stazioni di trasformazione e cabine primarie in rapporto alla superficie territoriale	Quantificare le principali fonti di pressione sul territorio per quanto riguarda i campi ELF
Superamenti dei valori di riferimento normativo per campi elettromagnetici generati da impianti per radiotelecomunicazione, azioni di risanamento	Quantificare le situazioni di non conformità per le sorgenti di radiofrequenza (RTV e SRB) presenti sul territorio, rilevate dall'attività di controllo eseguita dalle ARPA/APPA, e lo stato dei risanamenti
Superamenti dei limiti per i campi elettrici e magnetici prodotti da elettrodotti,azioni di risanamento <sup>a</sup>	Quantificare le situazioni di non conformità per le sorgenti ELF sul territorio e le azioni di risanamento
Numero di pareri preventivi e di interventi di controllo su sorgenti di campi RF	Quantificare la risposta alla domanda della normativa per quanto riguarda l'attività di controllo e vigilanza sugli impianti a RF (impianti radiotelevisivi,stazioni radio base per la telefonia mobile)
Numero di pareri preventivi e di interventi di controllo su sorgenti di campi ELF	Quantificare la risposta alla domanda della normativa per quanto riguarda l'attività di controllo e vigilanza sugli impianti ELF (linee elettriche,cabine di trasformazione)
Osservatorio normativa regionale	Valutare la risposta normativa alla problematica riguardante le sorgenti di radiazioni non ionizzanti anche in riferimento al recepimento della Legge Quadro 36/01
a -L'indicatore non è stato aggiornato rispetto all'annuario 2003,o perché i dati sono forniti con periodicità superiore all'anno,e/o per le non disponibilità degli stessi in tempi utili. Pertanto,nella presente edizione,non è stata riportata la relativa scheda indicatore	

---

*Schema 4 - Radiazioni luminose*

<b>Nome Indicatore</b>	<b>Finalità</b>
Brillanza relativa del cielo notturno	Monitorare la brillantezza del cielo notturno al fine di valutare gli effetti sugli ecosistemi dell'inquinamento luminoso
Percentuale della popolazione che vive dove la Via Lattea non è più visibile	Valutazione del degrado della visibilità del cielo notturno

### **Il modello DPSIR**

L'annuario dei dati ambientali APAT si basa sul modello DPSIR che mette in evidenza l'interazione tra le attività umane e le conseguenze sull'ambiente. Gli argomenti sono classificati in:

- **DETERMINANTI (D)**: si riferiscono prevalentemente ai settori produttivi (trasporti, industria, turismo, ecc.) che a seconda delle strategie adottate determinano influssi positivi o negativi sull'ambiente;
- **PRESSIONI, STATI e IMPATTI (P-S-I)**: sono elementi del modello fortemente connessi tra loro. I primi due indicano rispettivamente le pressioni generate dagli interventi realizzati e lo stato dell'ambiente che ne deriva. Gli impatti definiscono la scala delle priorità di risposta della società;
- **RISPOSTE (R)**: misurano l'efficacia degli interventi correttivi adottati rispetto alle pressioni esercitate, per migliorare lo stato dell'ambiente.

---

## BIBLIOGRAFIA E SITI WEB

APAT – Schede Tematiche di Educazione Ambientale, 2005

CRATI – *Energia e Ambiente*

AA.VV. – *Energia, liberi di crescere*, Armando Editore, 2004

ENEA – Coll. “Sviluppo sostenibile” – Opuscolo n. 22 *L’energia fotovoltaica*, 2002

ENEA – Coll. “Sviluppo sostenibile” – Opuscolo n. 19 *L’energia eolica*, 2003

ENEA – Coll. “Sviluppo sostenibile” – Opuscolo n. 23 *Idrogeno, energia del futuro*, 2003

### Siti web:

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

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

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

[www.enelgreenpower.enel.it](http://www.enelgreenpower.enel.it)

[www.eniscuola.net](http://www.eniscuola.net)

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

[www.feafrollo.it/domani.html](http://www.feafrollo.it/domani.html)

[www.galileo2001.it/materiali/documenti/energia/energia\\_ambiente\\_02.php](http://www.galileo2001.it/materiali/documenti/energia/energia_ambiente_02.php)

[www.ips.it/scuola/concorso/energia/](http://www.ips.it/scuola/concorso/energia/)

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

