

# **Università degli Studi di Padova**



**Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi  
Industriali**

**Corso di Laurea Triennale in Gestionale**

**Dipartimento di Ingegneria Industriale**

**ANALISI DELLE TECNOLOGIE PER LA PRODUZIONE  
DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI E NON**

RELATORI:

**CH.MO PROF. MIRTO MOZZON**

**CH.MO PROF. RINO A.MICHELIN**

LAUREANDO: **MARCO SPERANDIO**

ANNO ACCADEMICO: **2012-2013**



*"lo spirito rimane  
sempre vivo in noi"  
A te nonno Mario*



# INDICE

<b>INTRODUZIONE</b>	<b>9</b>
<b>CAPITOLO 1 Il sistema energetico</b>	<b>11</b>
<b>1.classificazione delle fonti di energia</b>	<b>11</b>
<u>1.1.fonti di energia primarie e secondarie</u>	11
<u>1.2.risorse non rinnovabili</u>	12
<u>1.3.fonti di energia rinnovabile</u>	13
<u>1.4.l'idrogeno</u>	15
<b>2.struttura del sistema elettrico</b>	<b>15</b>
<b>3.consumi mondiali e nazionali</b>	<b>17</b>
<b>CAPITOLO 2 Combustibili fossili</b>	<b>19</b>
<b>1.il carbone</b>	<b>19</b>
<u>1.1.tipologie di carbone</u>	19
<u>1.2.riserve</u>	22
<u>1.3.estrazione</u>	23
<u>1.4.centrali a carbone</u>	24
<b>2.il petrolio</b>	<b>25</b>
<u>2.1.formazione</u>	25
<u>2.2.ciclo produttivo</u>	26
<u>2.3.prodotti</u>	28
<u>2.4.riserve</u>	29
<u>2.5.centrali elettrice</u>	30
2.5.1.centrali a gas	30
2.5.2.centrali a turbogas	31
<b>3.il gas naturale</b>	<b>32</b>
<u>3.1.classificazione</u>	32
<u>3.2.riserve</u>	33
<u>3.3.produzione di energia</u>	33
3.3.1.centrali a vapore	34
3.3.2.centrali a turbogas	34
3.3.3.centrali a ciclo combinato	35

<b>CAPITOLO 3 Combustibili nucleari</b>	<b>37</b>
<b>1.i processi di fissione e fusione</b>	<b>37</b>
<b>2.le centrali elettronucleari</b>	<b>38</b>
<u>2.1.reattori ad acqua leggera</u>	39
<u>2.2.reattori ad acqua pesante</u>	39
<u>2.3.la scala IAEA</u>	40
<b>3.riserve e costo della materia prima</b>	<b>41</b>
<u>3.1.riserve</u>	41
<u>3.2.mercato e costo</u>	41
<b>4.impatto ambientale</b>	<b>42</b>

## **CAPITOLO 4 Tipologia degli impianti di produzione alimentati da fonti di energia rinnovabile (IARF) 45**

<b>1.impianti idroelettrici</b>	<b>45</b>
<u>1.1.principio e schema di funzionamento</u>	45
<u>1.2.classificazione degli impianti</u>	46
<u>1.3.impatto ambientale</u>	49
<b>2.impianti eolici</b>	<b>50</b>
<u>2.1.principio e schema di funzionamento</u>	50
<u>2.2.classificazione degli impianti</u>	51
<u>2.3.impatto ambientale</u>	53
<b>3.impianti geotermici</b>	<b>55</b>
<u>3.1.principio e schema di funzionamento</u>	55
<u>3.2.tipologia di impianti</u>	56
<u>3.3.impatto ambientale</u>	56
<b>4.impianti a energia solare</b>	<b>57</b>
<u>4.1.impianti termici</u>	57
<u>4.2.impianti fotovoltaici</u>	58
<u>4.2.1.vanaggi e problematiche</u>	60
<b>5.impianti a biomasse</b>	<b>60</b>
<u>5.1.applicazioni</u>	60

<u>5.2.produzione di energia</u>	61
<u>5.3.vantaggi</u>	62
<b>6.impianti di conversione dell'energia del moto ondoso e delle maree</b>	<b>63</b>
<u>6.1.convertitori di energia del moto ondoso</u>	64
<u>6.2.convertitori di energia delle correnti di marea</u>	66
<u>6.3.impatto ambientale</u>	67
<b>CONCLUSIONI</b>	<b>69</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>71</b>
<b>SITOGRAFIA</b>	<b>71</b>





# INTRODUZIONE

L'energia, nella sua definizione più semplice, è la capacità di un corpo o di una sostanza di compiere lavoro; questa energia si trasforma, ovvero si realizza, in lavoro.

La storia dell'uomo è stata sempre caratterizzata dalla ricerca di nuove fonti d'energia: inizialmente per garantirsi la sopravvivenza, poi per migliorare il proprio tenore di vita. In origine l'energia era costituita dal lavoro muscolare, spesso fornito dagli schiavi e dagli animali da soma; successivamente venne sfruttata l'energia eolica e idraulica.

La forza del vento, ad esempio, venne utilizzata fin dal secondo millennio a.C. per la navigazione fluviale e marittima o per l'azionamento dei mulini, comparsi per la prima volta nel 644 a.C. in Persia; quella dell'acqua invece fu utilizzata in primis dai romani, che ne svilupparono e ingegnerizzarono la scoperta realizzando la ruota ad acqua.

Verso la fine dell'Ottocento, con lo sviluppo della civiltà industriale, il fabbisogno energetico fu soddisfatto grazie all'utilizzo intensivo del carbone. Sotto il profilo tecnologico costituì un notevole passo avanti l'aver capito che il calore, attraverso la produzione di vapore, poteva essere trasformato in energia meccanica. La prima applicazione di questa nuova fonte di energia fu la macchina a vapore inventata da Watt, che sostituì i tradizionali cavalli con dei più moderni "cavalli-vapore". La società subì in quegli'anni una trasformazione, diventando sempre più dipendente dal consumo di materie prime energetiche, necessarie per alimentare il funzionamento delle macchine di produzione.

Nei primi decenni del Novecento, dopo un avvio promettente dell'energia idroelettrica, grandi giacimenti di petrolio (distillato per la prima volta già nel 1650 per ottenere un prodotto sgrassante per le ruote dei carri e per alimentare le prime lampade a combustione) vennero scoperti in Medio Oriente: la corsa all'"oro nero" era cominciata.

Negli anni '60, dopo mezzo secolo di dominio incontrastato del petrolio, il gas naturale si è dimostrato una valida alternativa, soprattutto per quanto riguarda gli impieghi domestici (cottura e riscaldamento), grazie al suo minore impatto ambientale.

All'inizio degli anni '70 in alcuni Paesi ha cominciato a farsi avanti l'energia nucleare, principalmente nell'ambito della produzione di elettricità (nel 1954 entra in funzione la prima centrale nucleare della storia). Lo sviluppo dell'energia nucleare, così come quello di altre fonti energetiche alternative, si spiega con i forti incrementi del prezzo del greggio provocati dalle "crisi petrolifere" del '74 e del '79, e da quella del 1990, durante la Guerra del Golfo.

Il serbatoio delle fonti di energia attualmente disponibili è costituito da petrolio, gas naturale, carbone, energia idroelettrica ed energia nucleare in percentuali variabili da nazione a nazione. A queste fonti principali se ne aggiungono altre, anche se in

quantità ancora poco significative, ma dotate della caratteristica di essere rinnovabili: l'energia geotermica, l'energia solare, l'energia eolica, l'energia idrica, l'energia da biomasse.

Tutte queste forme di energia ricoprono un ruolo di primaria importanza nella società moderna permettendole di funzionare. Città, complessi industriali, apparecchi tecnologici non potrebbero funzionare senza una regolare e costante fornitura di energia. La sua disponibilità è tra i principali fattori di sviluppo: l'aumento delle condizioni di benessere degli ultimi due secoli è evidentemente legato all'evoluzione economica ed energetica.

Con la presente tesi si intende, dunque, fare una panoramica e un'analisi delle principali fonti di energia che influenzano ad oggi in maniera inequivocabile la vita dell'uomo, dando particolare risalto alle tecnologie utilizzate per la produzione delle stesse.

# CAPITOLO 1

## Il sistema energetico

### 1.classificazione delle fonti di energia

Per fonti di energia si intende l'insieme di tutte le risorse energetiche che consentono di generare energia utile per produrre lavoro, calore o elettricità.

Una prima classificazione consiste nel suddividere le fonti di energia in energie primarie, ovvero quelle fonti direttamente presenti in natura, e in energie secondarie, derivanti dalle primarie e perciò non presenti direttamente in natura.

Tradizionalmente, nel settore energetico si distingue inoltre fra fonti di energia rinnovabile e fonti di energia non rinnovabili. Sono classificate come rinnovabili le fonti energetiche primarie considerate inesauribili, ovvero in grado di rigenerarsi con continuità o comunque caratterizzate da durate molto grandi rispetto alla scala dei tempi umani. Viceversa, sono fonti non rinnovabili quelle consumate con velocità di gran lunga maggiori di quelle di formazione.

#### 1.1.fonti di energia primarie e secondarie

Si definiscono fonti primarie di energia quelle fonti presenti in natura prima di avere subito una qualunque trasformazione. Sono fonti primarie le fonti energetiche esauribili (petrolio grezzo, gas naturale, carbone, materiali fossili) e le fonti di energia rinnovabili quali energia solare, eolica, idrica, biomasse, geotermica.

Si definiscono invece fonti secondarie quelle che derivano, in qualunque modo, da una trasformazione di quelle primarie: sono fonti secondarie, per esempio, la benzina (perché deriva dal trattamento del petrolio greggio), il gas di città (che deriva dal trattamento di gas naturali), l'energia elettrica (che deriva dalla trasformazione di energia meccanica o chimica).

Dal punto di vista teorico le fonti primarie sono, in realtà, molte di più: qualunque corpo dotato di energia potenziale può essere una fonte primaria di energia; quindi, ciò equivale a dire che tutti i corpi, indistintamente, possono essere fonti di energia per il semplice fatto di esistere e di avere un peso. In senso pratico è utile precisare, perciò, che si intende fonte primaria di energia una fonte effettivamente utilizzabile.

Perché una fonte primaria possa essere sfruttata, deve avere alcune caratteristiche peculiari: deve essere concentrabile, indirizzabile, frazionabile, continua e regolabile.

1. concentrabile: deve essere possibile concentrare la sorgente di energia entro un'area relativamente limitata, affinché sia possibile controllarla. Una fonte di energia dispersa su una superficie molto estesa diventerebbe praticamente

impossibile da gestire. Un'area limitata può essere quella di una centrale elettrica (di solito, l'area impegnata non arriva a un chilometro quadrato per quelle termoelettriche e può superare questo valore, anche se non di molto, per quelle idroelettriche, tenendo conto del bacino di raccolta e delle condotte); ma può essere anche quella, molto inferiore, del serbatoio di benzina di un'automobile, o addirittura quella di una batteria a bottone per l'alimentazione di un orologio al quarzo;

2. indirizzabile: deve essere possibile indirizzare il prodotto (benzina, acqua, raggi solari) nella direzione in cui esso deve essere utilizzato (bruciatore, turbina, lente, specchio);
3. frazionabile: deve essere possibile frazionare la fonte in più parti, in modo da poter utilizzare solamente la parte, piccola o grande che sia, che serve in uno specifico momento;
4. continua: la sorgente deve poter funzionare per un certo tempo, fornendo la sua energia con una certa continuità, e non esaurirsi in pochi secondi. Esistono molti esempi di notevoli quantità di energia concentrate in tempi brevissimi (il fulmine, un'esplosione, un oggetto qualunque che cade). Questi tipi di energia, evidentemente, non sono utilizzabili industrialmente;
5. regolabile: vuol dire che l'energia fornita dalla sorgente deve essere graduabile secondo le necessità.

Una fonte di energia è considerata tanto più pregiata quanto migliori sono le caratteristiche indicate.

Esistono, naturalmente, altre caratteristiche che possono avere, in certi casi, la loro grande importanza (trasformabilità, accumulabilità, rinnovabilità) e che sono peculiari solo di alcune forme di energia e non di altre, ma che non risultano, a differenza delle cinque menzionate, indispensabili per ogni fonte di energia.

### 1.2.risorse non rinnovabili

Le fonti energetiche attualmente più utilizzate sono le fonti non rinnovabili, tra cui dobbiamo distinguere in particolare i combustibili fossili come petrolio, carbone e gas naturale, dai combustibili nucleari come l'uranio. La disponibilità di queste fonti è attualmente ancora abbastanza elevata e di conseguenza il costo relativamente basso. Tuttavia, per definizione stessa di energia non rinnovabile, esse sono associate a delle riserve finite, non inesauribili. In uno scenario di medio-lungo periodo le fonti non rinnovabili sono destinate infatti ad esaurirsi. Agli attuali livelli di consumo, le riserve accertate di petrolio dovrebbero durare per circa 40-45 anni, quelle di gas naturale per

circa 60-65 anni e quelle di carbone per almeno 200-300 anni. Analogamente, con le attuali tecnologie, le riserve di uranio dovrebbero durare per circa 40-50 anni.

Ovviamente, le risorse presunte (ovvero i giacimenti che si presume esistano ma che ancora non sono stati scoperti, unitamente ai giacimenti noti ma che con le attuali tecnologie non sono tecnicamente ed economicamente sfruttabili) sono maggiori delle riserve accertate. Per esempio, nel caso del petrolio e del gas naturale si ritiene che le risorse siano circa doppie rispetto alle riserve accertate. Nel caso del carbone le risorse sono ancora maggiori, dell'ordine di 10 volte le riserve. Per l'uranio il discorso è più complesso perché la valutazione delle risorse coinvolge appieno anche la tecnologia utilizzata, tanto che alcuni ritengono che esistano risorse di uranio per alcune migliaia di anni.

### 1.3. fonti di energia rinnovabile

Sono da considerarsi energie rinnovabili quelle forme di energia generate da fonti che per loro caratteristica intrinseca si rigenerano o non sono "esauribili" nella scala dei tempi umana e il cui utilizzo non pregiudica le risorse naturali per le generazioni future. Sono considerate dunque, secondo la normativa italiana di riferimento, Fonti di Energia Rinnovabile (FER).

Il flusso delle energie rinnovabili è dovuto alla radiazione solare che raggiunge la superficie terrestre la cui entità, in un anno pari a 90000 TW, è fino a 15000 volte superiore all'attuale consumo energetico mondiale. Se si guarda al ciclo annuale, quasi la metà di tale energia è trasformata in calore sulla superficie terrestre e negli oceani venendo riemessa come radiazione infrarossa. Gran parte del restante flusso alimenta il complesso ciclo idrologico (40000 TW); i gradienti termici dell'atmosfera producono poi i venti (circa il 3% dell'energia solare, 370 TW), che dissipano un'energia pari a 40 volte il consumo energetico mondiale. Infine una percentuale ancora più piccola è assorbita dai processi di fotosintesi ed è pari a 80 TW, 9 volte il consumo energetico mondiale.

L'energia solare è quindi la sorgente da cui hanno origine quasi tutte le fonti energetiche, sia convenzionali che rinnovabili. Solo la geotermica, la gravitazione e la nucleare sono da questa indipendenti.

Se la definizione in senso stretto di energia rinnovabile è quella sopra enunciata, spesso vengono usate come sinonimi anche le locuzioni energia sostenibile e fonti alternative di energia. Esistono tuttavia delle sottili differenze:

- energia sostenibile è una modalità di produzione ed uso dell'energia che permette uno sviluppo sostenibile: ricomprende dunque anche l'aspetto dell'efficienza degli usi energetici.

- fonti alternative di energia sono invece tutte quelle diverse dagli idrocarburi, cioè non fossili.

Alla luce di ciò, è chiaro che non esiste una definizione univoca dell'insieme delle fonti rinnovabili, esistendo in diversi ambiti diverse opinioni sull'inclusione o meno di una o più fonti nel gruppo delle rinnovabili.

Attenendosi alla definizione della normativa italiana, per la produzione di energia elettrica, rientrerebbero in questo campo:

- energia eolica
- energia idrica
- energia solare
- energia geotermica
- energia delle biomasse
- energia del moto ondoso

Una distinzione che spesso viene fatta in tale ambito è quella tra fonti rinnovabili classiche (essenzialmente idroelettrico e geotermica) e fonti rinnovabili nuove (anche dette NFER), tra cui vengono generalmente incluse l'energia solare, eolica e da biomassa.

Nell'ambito della produzione di energia elettrica, le fonti rinnovabili vengono inoltre classificate in fonti programmabili e non programmabili, a seconda che possano essere programmate in base alla richiesta di energia oppure no. Secondo la definizione di Gestore Servizi Elettrici (GSE), nel primo gruppo rientrano impianti idroelettrici a serbatoio e bacino, rifiuti solidi urbani, biomasse, impianti assimilati che utilizzano combustibili fossili, combustibili di processo o residui; mentre nel secondo gruppo (non programmabili) si trovano impianti di produzione idroelettrici fluenti, eolici, geotermici, fotovoltaici, biogas.

Talvolta, in alcuni ambiti, anche risparmio energetico ed efficienza energetica sono considerate fonti rinnovabili, sebbene a rigore tali tematiche facciano parte dell'utilizzo razionale dell'energia e non della loro produzione.

La tematica si intreccia anche col il problema del riscaldamento globale e delle emissioni di CO<sub>2</sub>: una definizione parallela di energie rinnovabili riguarda quindi anche il fatto che esse non contribuiscano all'aumento dell'effetto serra (pur fra difficoltà di effettiva verifica delle emissioni effettive e reali di tutta la filiera energetica/produttiva), sebbene anche in questo caso sia più rigoroso parlare di energia sostenibile, essendo l'accento posto sugli effetti ambientali della produzione di energia, piuttosto che sulle fonti da cui viene ottenuta.

#### 1.4.l'idrogeno

Particolare attenzione va data infine all'idrogeno.

Comunemente si pensa a questo elemento chimico 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) o da biomasse. Ciò comporta un consumo di energia, per questo è considerato un vettore o un accumulatore o, come definito in inglese, 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.

Sta diventando un luogo comune declassare l'idrogeno a semplice "forma" di energia e non si considerano tutte le potenzialità che deriverebbero dalla messa a punto e dall'adozione delle migliori tecnologie per produrre ed utilizzare l'idrogeno; le migliori fonti di energia sono quelle rinnovabili, però hanno l'inconveniente di essere discontinue: a volte non c'è vento, fiumi spesso 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); se permette il recupero di energia altrimenti dispersa o non utilizzabile può essere considerato una vera e propria fonte di energia primaria e rinnovabile come tutti i sistemi che permettono il recupero e il risparmio energetico.

## **2.struttura del sistema elettrico**

Il sistema elettrico è configurato secondo una struttura a rete all'interno della quale gli impianti di generazione elettrica e gli utilizzatori sono collegati tra loro dalle linee di trasmissione (in alta tensione) e di distribuzione (generalmente in media e bassa tensione). Un tale sistema a rete è soggetto a vincoli di diversa natura, in quanto è necessario un continuo ed istantaneo bilanciamento fra l'energia prodotta dai generatori e quella consumata dalle utenze a causa della pratica assenza di stoccaggio. È poi necessario uno stretto controllo della frequenza e della tensione,

nonché della massima potenza che può transitare sui diversi rami della rete. Per natura, inoltre, la domanda elettrica sulla rete è soggetta a notevoli variazioni giornaliere, settimanali e stagionali. Infine, il percorso dell'energia sulla rete non è di fatto tracciabile. Tutti i vincoli sopra richiamati rendono particolarmente evidente come una corretta gestione del sistema elettrico richieda la presenza di un soggetto che coordini la produzione delle diverse centrali elettriche in relazione alle esigenze della rete. Tale figura è rappresentata dal dispacciatore della rete, un ruolo che fino al 1999 è stato rivestito dall'ENEL, fino ad allora l'unico soggetto autorizzato a produrre, trasportare e distribuire l'energia elettrica in Italia. A sua volta l'ENEL era nata nel 1962 con la legge di nazionalizzazione del settore attraverso la fusione di circa 1270 diverse aziende.

La figura 1.1 schematizza l'attuale struttura di gestione del sistema elettrico italiano, evidenziando i diversi soggetti che operano al suo interno.

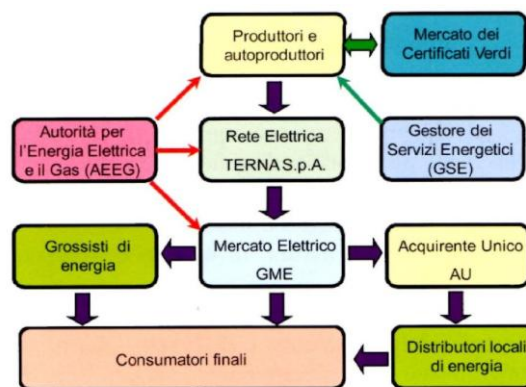


Figura 1.1 struttura di gestione del sistema elettrico in Italia.

In particolare, per effetto del Dlgs 79/1999 (“Decreto Bersani”), la produzione e l'importazione di energia elettrica sono attività liberalizzate e non più in capo ad un unico soggetto monopolista. Dal 1 gennaio 2003 nessun operatore può fornire o importare più del 50% dell'energia elettrica prodotta o importata in Italia.

Per quanto concerne la trasmissione di energia elettrica, dal 1 novembre 2005 la società TERNA S.p.a. ha riunito in un unico soggetto la proprietà della rete di Trasmissione e la funzione di Gestore della Rete Nazionale, con il compito di mantenere, gestire e sviluppare la rete di trasporto, garantendo a tutti i soggetti pari condizioni di accesso alla rete ed ai suoi servizi. TERNA funge perciò da coordinatore: ha il compito di adeguare l'offerta alla domanda, controllare la tensione e la frequenza, nell'ambito dei vincoli imposti dai flussi massimi di energia transitabili sui diversi rami della rete.

Un altro importante attore del sistema elettrico italiano è rappresentato dal GSE (Gestore dei Servizi Energetici), una S.p.a. di proprietà del Ministero dell'Economia,



con compiti di promozione e incentivazione nei settori delle fonti rinnovabili e del risparmio energetico. Il GSE è azionista unico di altri due importanti attori del sistema elettrico, il Gestore del Mercato Elettrico (GME) e l'Acquirente Unico (AU). L'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas (AEEG) mantiene infine i compiti di regolamentazione e di controllo del mercato.

### 3.consumi mondiali e nazionali

La seguente tabella riporta la potenza efficiente lorda e la produzione elettrica lorda nel mondo relativa al 2010 (fonte: Terna S.p.a.).

	Potenza efficiente lorda		Produzione elettrica lorda	
	(GW)	(%)	(TWh /anno)	(%)
Termoelettrico	3487,9	68,0	14619,6	68,7
Nucleare	377,0	7,4	2753,6	12,9
Idroelettrico	1016,9	19,8	3485,9	16,4
Eolico	198,27	3,9	335,355	1,6
Fotovoltaico	37,46	0,7	30,635	0,1
Geotermoelettrico	10,003	0,2	67,307	0,3
<b>Totale</b>	<b>5127,6</b>		<b>21292,397</b>	

**Figura 1.2** potenza efficiente lorda di energia elettrica nel mondo nel 2010.

A fronte di una potenza lorda di oltre 5100 GW, la produzione lorda risulta complessivamente pari a circa 21,3 TWh/anno. Tale produzione elettrica deriva per il 68,7% da impianti termoelettrici, in gran parte alimentati con carbone e gas naturale. Gli impianti idroelettrici e nucleari forniscono una quota rispettivamente pari al 16,4% e al 12,9% della produzione lorda di energia elettrica, mentre il restante 2,0% viene fornito da impianti alimentati con altre forme rinnovabili (eolico, geotermoelettrico, solare, biomasse, etc.). Le fonti rinnovabili, specie l'eolico, il solare, i biocombustibili, i rifiuti e il biogas, offrono un contributo ancora marginale, pur se in continua crescita, specie nei paesi occidentali. Dal 2008 al 2010 si è riscontrato, ad esempio, un aumento dello 0.6%.

Per quanto concerne l'Italia, la tabella di figura 1.3 riporta la struttura del bilancio energetico nazionale riferito al 2010.

Dall'analisi di tale tabella emerge un consumo interno lordo di circa 185 Mtep/anno (in calo rispetto al 2008 in cui si registrava un consumo di oltre 190 Mtep/anno), al quale contribuiscono in maniera preponderante, nonostante il lieve calo nell'ultimo biennio, le importazioni, per quasi 176 Mtep/anno, a fronte di una produzione interna inferiore a

35 Mtep/anno. La dipendenza dall'estero è dell' 83% circa sull'energia prodotta e importata in Italia, ancora nettamente superiore rispetto alla media europea, laddove si riscontra una dipendenza energetica dall'estero inferiore al 50%, ma comunque in calo di circa 4 punti percentuali rispetto al 2008.

Al consumo interno lordo concorrono il petrolio con circa il 37,5%, il gas naturale con il 34,6%, il carbone con il 9%, le rinnovabili con il 13,3% e le importazioni di energia elettrica con il restante 5,6%. È importante far notare come negli ultimi due anni il contributo delle risorse rinnovabili sia salito dal 9% al 13,3%.

Al netto dei consumi e delle perdite derivanti dall'industria di trasformazione (raffinerie di petrolio e centrali elettriche), i consumi finali italiani sono circa pari a 135 Mtep/anno distribuiti in quote sostanzialmente paritarie fra trasporti e settore civile (rispettivamente 43 e 46 Mtep/anno) e, in quote leggermente inferiori, all'industria. Il settore agricolo, della pesca e degli usi non energetici evidenzia, nel complesso, un'incidenza molto minore.

Il contributo delle diverse fonti energetiche ai consumi finali vede al primo posto il petrolio e i suoi derivati con una quota del 45% circa, cui segue il gas naturale con il 29%, l'energia elettrica con il 19% e le fonti rinnovabili con appena il 4%, superando in ogni caso dal 2008 al 2010 il consumo di combustibili solidi, che raggiunge il 3%.

	Gas			Energia		Totale
	Solidi	Naturali	Petrolio	Rinnovabili	Elettrica	
<b>1</b>						
Produzione	0,714	6,920	5,284	22,554		35,472
<b>2</b>						
Importazione	15,530	57,632	89,943	2,168	10,454	175,727
<b>3</b>						
Esportazione	0,219	0,102	26,700	0,157	0,393	27,571
<b>4</b>						
Variazione Scorte	-0,575	0,636	-0,630	-0,007		-0,576
<b>5</b>						
<b>Consumo interno lordo (1+2-3-4)</b>	16,600	63,814	69,157	24,572	10,061	184,204
<b>6</b>						
Consumi e perdite	-0,312	-1,511	-5,493	-0,007	-41,980	-49,303
<b>7</b>						
Trasformazioni in energia Elettrica	-11,776	-23,106	-3,302	-19,692	57,876	
<b>8</b>						
<b>impieghi finali (5+6+7)</b>	4,512	39,197	60,362	4,873	25,957	134,901
Industria	4,409	12,674	4,840	0,257	10,476	32,656
Trasporti	/	0,772	39,524	1,296	0,928	42,470
Civile	0,004	25,244	3,982	3,179	14,045	46,454
Agricoltura		0,130	2,234	0,141	0,508	3,013
Usi non energetici	0,009	0,427	6,374	0,000	/	6,900
Bunkeraggi	/		3,408		/	3,408

**Figura 1.3** bilancio energetico italiano nel 2010 in Mtep (fonte Ministro dello Sviluppo Economico).

## **CAPITOLO 2**

### **Combustibili fossili**

Si definiscono fossili quei combustibili derivanti dalla trasformazione, sviluppatasi in milioni di anni, di sostanza organica, seppellitasi sotto terra nel corso delle ere geologiche, in forme molecolari ricche di carbonio. Inoltre si può ritenere che i combustibili fossili costituiscano l'accumulo, sottoterra, di energia solare direttamente raccolta dai vegetali tramite la fotosintesi clorofilliana e indirettamente, tramite la catena alimentare, dagli organismi animali.

Rientrano in questo campo: petrolio, carbone, gas naturale; essi rappresentano oggi la principale fonte energetica sfruttata dall'umanità grazie ad alcune importanti caratteristiche che li contraddistinguono: hanno un elevato rapporto energia/volume, sono facilmente trasportabili ed immagazzinabili, costano relativamente poco. Di contro hanno rilevanti svantaggi: sono inquinanti e producono anidride solforosa ( $\text{SO}_2$ ) responsabile delle piogge acide; il loro utilizzo determina l'incremento della quantità di anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) in atmosfera, un gas non direttamente inquinante, ma ritenuto come uno dei maggiori responsabili del surriscaldamento globale (la quantità di  $\text{CO}_2$  emessa dipende dal tipo di combustibile utilizzato: il carbone produce il doppio di anidride carbonica rispetto al gas naturale); non sono risorse rinnovabili, dato che il processo di fossilizzazione della sostanza organica è estremamente lungo e la quantità che oggi si fossilizza è trascurabile rispetto ai fabbisogni energetici della società in cui viviamo.

L'utilizzo sistematico di queste risorse risale alla rivoluzione industriale e quindi alla fine del XVIII secolo: il fabbisogno era principalmente soddisfatto dall'utilizzo del carbone. L'incremento dei combustibili fossili come principale fonte di energia si è notevolmente consolidato nel XX secolo.

#### **1.il carbone**

##### 1.1.tipologie di carbone

Con il termine carbone (o carbon fossile) si intende generalmente un combustibile fossile solido, estratto da miniere sotterranee o a cielo aperto, direttamente utilizzabile come combustibile. Il che, in estrema sintesi, è corretto. Ma in questo modo si generalizza un discorso che è invece piuttosto complesso in relazione agli usi che se ne fanno nelle società tecnologicamente avanzate e in quelle in via di sviluppo. Ci sono infatti numerosi tipi di carboni, molto diversi tra di loro per composizione chimica (ad

esempio tenore di carbonio, presenza di minerali, di acqua e di altri materiali non combustibili).

Tecnicamente il carbone è una roccia sedimentaria costituita dai resti modificati di accumuli vegetali che si trovano più o meno in profondità nella crosta terrestre. La sua formazione avviene nel corso di millenni attraverso il processo di carbonizzazione, cioè di fossilizzazione di resti vegetali nei quali, anche grazie a particolari situazioni di pressione e temperatura, si riduce la presenza di alcuni elementi chimici (in particolare idrogeno e ossigeno) e aumenta la concentrazione di carbonio. Proprio il tenore di quest'ultimo elemento chimico è il principale fattore distintivo delle varie tipologie (o classi) di carboni fossili. Le principali sono: torba, lignite, litantrace e antracite.

- La torba è la forma più recente di carbone fossile, quella con minore concentrazione di carbonio (inferiore al 60%) e maggiore presenza di acqua (in alcuni casi oltre l'80%). È costituita da una massa più o meno compatta di resti vegetali, con prevalenza di piante palustri e lacustri, e si utilizza dopo un processo di essiccazione che riduca a meno del 30% il tenore di acqua. Ha un potere calorifico piuttosto basso, di norma sui 4.000 – 5.000 kcal/kg (per un confronto: il petrolio greggio di migliore qualità ha un potere calorifico di circa 10.500 kcal/kg).



**Figura 2.1** torba.

- La lignite comprende vari tipi di carbone fossile con rilevanti differenze qualitative. Contiene spesso accentuate percentuali di zolfo, è ricca di acqua ed è igroscopica (assorbe l'umidità atmosferica tendendo a decomporsi). Il tenore di carbonio varia, secondo il tipo, dal 60 al 75%, con potere calorifico che può arrivare a poco più di 6.000 kcal/kg.



**Figura 2.2** lignite.

- Il litantrace è storicamente il carbone fossile per antonomasia, quello più utilizzato nella rivoluzione industriale del XIX secolo. Si usa per numerosi impieghi, dalla combustione diretta alla produzione di gas illuminante, catrame e coke metallurgico (o carbon coke, prodotto dalla sua distillazione). Ha un contenuto di carbonio tra l'80 e il 90% e un potere calorifico di circa 8.000-9.000 kcal/kg.



**Figura 2.3** *litantrace.*

- L'antracite rappresenta il tipo di carbone fossile di più antica formazione e più pregiato: nero, compatto, lucido e privo di umidità, ha un contenuto di carbonio che può superare il 90% e un potere calorifico di oltre 9.000 kcal/kg. Può fornire coke industriale, ma viene di preferenza utilizzato direttamente come combustibile, anche per la scarsa presenza di componenti volatili, per cui tende a bruciare con scarsi fumi.



**Figura 2.4** *antracite.*

Nel loro insieme queste tipologie di carbone fossile vengono indicate come combustibili solidi, mentre normalmente, nel linguaggio comune, il termine “carbone” comprende soltanto il litantrace e l'antracite.

Va precisato che nelle moderne centrali termoelettriche a carbone, il minerale non viene utilizzato tal quale. La crescente attenzione per i problemi ambientali ha infatti portato al perfezionamento di particolari tecnologie al fine di ridurre al massimo le emissioni di sostanze inquinanti e di CO<sub>2</sub>. I sistemi oggi comunemente in uso, per esempio, prevedono la combustione di carbone finemente tritato (polverino) e miscelato con aria per essere bruciato in caldaie con diversi livelli di efficienza (convenzionali, supercritiche o ultra-supercritiche).

I fumi prodotti dalla combustione sono trattati con tecniche molto sofisticate che consentono di abbattere radicalmente le emissioni, al punto da essere oggi note come tecnologie del “carbone pulito”.

### 1.2.riserve

I consumi di carbone sono in costante aumento. Attualmente se ne producono ogni anno circa 6 miliardi di tonnellate, che coprono il 30% di tutti i consumi energetici mondiali.

Ma in futuro, per soddisfare la crescente domanda di energia, proveniente in particolare dai miliardi di abitanti dei Paesi in via di sviluppo, le quantità sono destinate ad aumentare. E non di poco. L'Agenzia Internazionale dell'Energia (Iea) stima che entro il 2035 le quantità utilizzate saliranno da un minimo del 25% a un massimo del 65% rispetto a oggi (Fonte: World Energy Outlook 2011).

Il divario tra le due cifre è rilevante, ma è comunque probabile che entro un decennio il carbone divenga la principale fonte di energia, scalzando il petrolio dal primo posto.

Le ragioni di questo successo sono diverse, a cominciare da quelle economiche. Un fattore fondamentale è che il carbone garantisce più di ogni altra fonte fossile una elevata affidabilità e sicurezza delle forniture. Un fatto, questo, di valore strategico senza pari per le società industrializzate, dove tutto (senza eccezioni) dipende dalla costante disponibilità di energia.

Si tratta infatti di una risorsa largamente disponibile e geograficamente molto diversificata. Le riserve accertate di carbone garantiscono consumi per oltre due secoli e sono distribuite in un centinaio di Paesi. Importante è anche il fatto che oltre il 40% delle riserve è ubicato in Paesi dell'area occidentale politicamente stabili.

In pratica, i rifornimenti di carbone possono essere assicurati da una pluralità di aree e di Paesi, in gran parte diversi da quelli esportatori di petrolio e gas. In tal modo diventa facilmente realizzabile una condizione ritenuta fondamentale per la sicurezza energetica: la diversificazione geografica delle forniture. Si riduce così al minimo il rischio geopolitico, che invece resta elevato per il petrolio e il gas, a causa dell'instabilità politica delle aree in cui si trovano le loro principali riserve.

Da sottolineare che tutto ciò garantisce anche una certa stabilità dei prezzi del carbone, che tipicamente risentono in misura ridotta delle variabili esterne, dovute, per esempio, a crisi politiche o di tipo finanziario-speculativo.

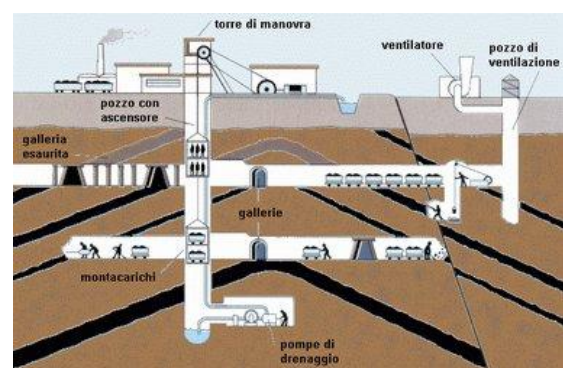
Per queste ragioni, gran parte dei Paesi industrializzati e quasi tutti quelli in via di sviluppo (anche quelli che non dispongono di adeguate risorse minerarie interne e devono ricorrere alle importazioni) puntano prioritariamente sul carbone per soddisfare le proprie esigenze energetiche.

### 1.3.estrazione

L'insieme delle operazioni che portano a localizzare giacimenti carboniferi e a valutarne l'interesse minerario si definisce prospezione mineraria. Si inizia dallo studio delle foto aeree per individuare zone geologicamente interessanti, fino allo studio di campioni di terreno da cui trarre informazioni più dettagliate. Una volta individuato un giacimento, la sua posizione e conformazione, si procede alla costruzione del cantiere-miniera. Se il carbone si trova a profondità non superiori ai 30 metri, viene estratto in miniere a cielo aperto, dove il giacimento è reso accessibile dopo l'eliminazione degli strati di suolo e roccia sovrastanti con l'aiuto di cariche esplosive. Per filoni di carbone a profondità maggiori di 30 metri, l'accesso al giacimento si ottiene scavando miniere sotterranee, formate da almeno due gallerie, per il passaggio di minatori e macchinari fino al giacimento. Nelle miniere a cielo aperto, il carbone viene estratto dopo essere stato liberato dalle rocce sovrastanti. Nel caso di miniere sotterranee, l'estrazione si esegue con due modi: quello dei pilastri abbandonati e quello delle lunghe fronti. Il primo sistema consiste nell'estrarre carbone lasciandone però dei pilastri a sostegno del soffitto della miniera. Nel caso delle lunghe fronti, invece, si utilizza una serie di strutture di sostegno, dette armature, che sono facilmente spostabili e sostengono il soffitto nell'area di escavazione. Man mano che l'estrazione procede, le armature vengono spostate e il soffitto frana. I due metodi differiscono per il dissesto del suolo che provocano. Infatti, all'asportazione del carbone, se la miniera non è sostenuta, segue un più o meno graduale abbassamento dei terreni sovrastanti. In aree soggette a vincoli ambientali, si preferisce, dunque, il metodo dei pilastri abbandonati. Altrove, quello delle lunghe fronti che, grazie a uno sfruttamento più intensivo della miniera, produce una quantità di carbone 4/5 volte superiore. Una volta estratto, il carbone viene trattato in modo da renderlo adatto alle esigenze commerciali. In particolare, viene macinato, vagliato per ottenere le pezzature richieste dal mercato e lavato per eliminare le impurità.



**Figura 2.5** miniera a cielo aperto.



**Figura 2.6** miniera sotterranea.

#### 1.4. centrali a carbone

Per le sue caratteristiche di abbondante disponibilità, sicurezza di approvvigionamento, competitività, e per la sua elevata sicurezza nel maneggio, trasporto ed uso (non è né infiammabile, né esplosivo, né inquinante per il suolo e per l'acqua) il carbone è il combustibile primario nella generazione di energia elettrica nel mondo ed in Europa.

Il percorso dell'energia di una centrale a carbone comincia dalla zona del generatore di vapore dove sono ubicati i bruciatori predisposti per la combustione dell'olio combustibile del carbone.

L'elevata temperatura dei gas di combustione determina la trasformazione in vapore dell'acqua contenuta nei tubi della caldaia. Il vapore, attraverso grosse tubazioni, raggiunge la turbina e la fa ruotare a 3000 giri al minuto.

Alla turbina è collegato l'alternatore che produce energia elettrica. I fumi, rilasciato il loro calore nel generatore di vapore, vengono inviati al camino dopo essere passati attraverso i denitrificatori, i captatori di polveri e i desolforatori per l'abbattimento rispettivamente degli ossidi di azoto, delle polveri e del biossido di zolfo. Il vapore, dopo aver ceduto gran parte della sua energia alla turbina, viene convogliato al condensatore dove, senza mai venirci a contatto, trasferisce il suo calore residuo all'acqua di mare prelevata con idonee pompe. Questo vapore si trasforma così in acqua che viene ricondotta con pompe al generatore di vapore per ripetere il ciclo. L'energia prodotta dall'alternatore viene innalzata di tensione a 380 kV per essere immessa nella rete elettrica.

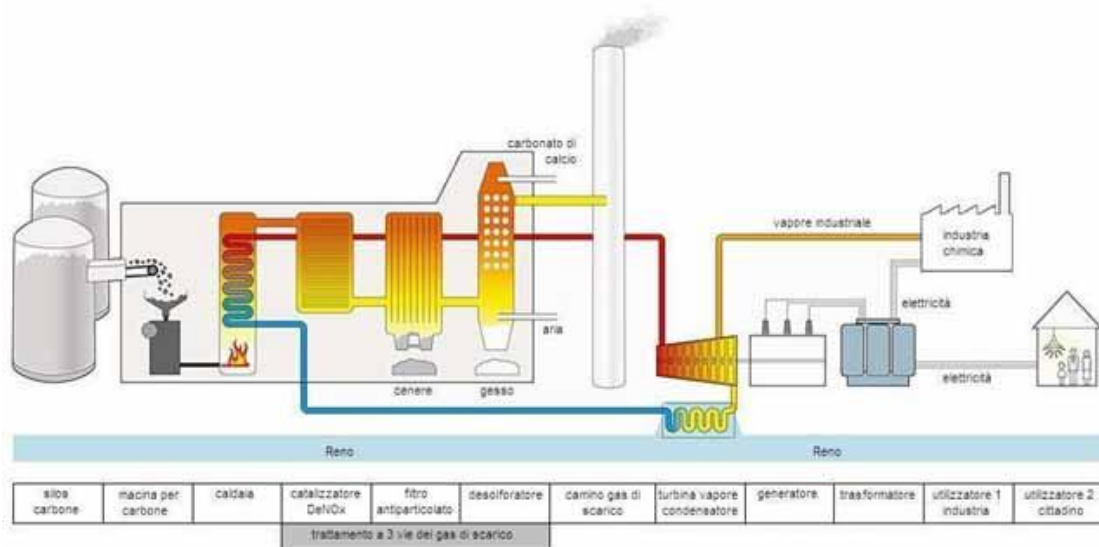


Figura 2.7 schema di funzionamento di una centrale a carbone.

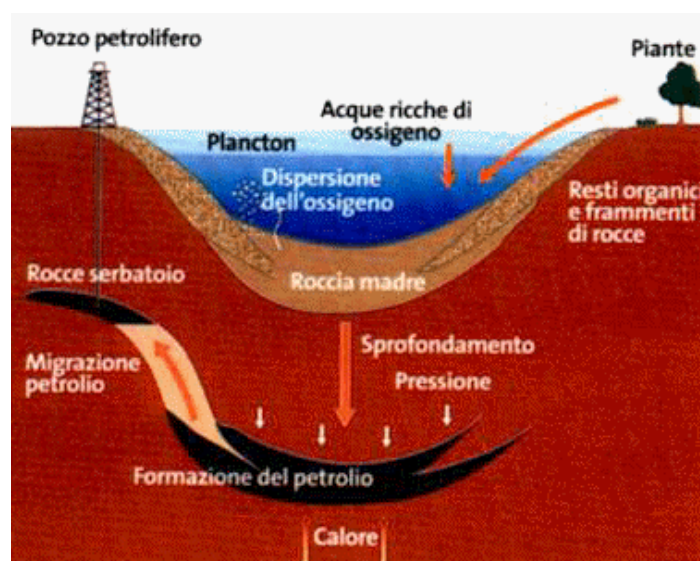


## 2.il petrolio

### 2.1.formazione

Il petrolio, olio di pietra (dal latino *petra* e *oleum*) è un liquido denso, vischioso, dall'odore caratteristico e di colore variante da giallo-bruno a nerastro. È costituito da una miscela di idrocarburi naturali liquidi (olio) e, in proporzione molto minore, gassosi (gas naturale) e solidi (bitumi e asfalti).

Il petrolio si concentra in rocce serbatoio, ossia in volumi circoscritti del sottosuolo dove particolari conformazioni delle rocce porose e delle sovrastanti rocce impermeabili, definite trappole, ne impediscono la dispersione verso la superficie. La composizione dell'olio ha caratteristiche chimico-fisiche molto diverse a seconda della provincia petrolifera di provenienza, che variano da quelle degli oli pregiati leggeri (>30°API) con basso contenuto di zolfo, a quelli degli oli pesanti (<20°API) con alto tenore di zolfo e diminuito valore commerciale. La formazione del petrolio deriva principalmente dall'alterazione termica nei tempi geologici della materia organica contenuta nelle rocce madri durante il loro seppellimento nei bacini sedimentari. La stragrande maggioranza delle riserve originarie di olio (oltre il 90%) sono contenute in 1.330 grandi giacimenti che rappresentano solo il 3,2% degli oltre 41.000 giacimenti finora scoperti. La figura 2.8 mostra un bacino dove si forma il petrolio: i resti di organismi animali e vegetali si depositano, l'ossigeno si disperde, il carbonio e l'idrogeno formano gli idrocarburi che danno origine alla roccia madre. Le alte pressioni e temperature permettono la formazione del petrolio che si accumula nella roccia serbatoio.



**Figura 2.8** creazione di un giacimento petrolifero.

Una volta formato, il petrolio viene strizzato fuori dalla roccia-madre (compressa dagli strati sovrastanti) muovendosi prima attraverso le sue micro-fratture (migrazione

primaria) e poi nei canalini delle rocce permeabili adiacenti (migrazione secondaria). In certi casi, gli idrocarburi possono raggiungere la superficie terrestre e disperdersi. In altri, la loro migrazione viene bloccata da rocce impermeabili. In questo caso gli idrocarburi sono in trappola e si accumulano; un accumulo di idrocarburi di dimensioni tali da essere economicamente sfruttabile si chiama giacimento.

Una trappola è composta da due elementi: in basso una roccia serbatoio (reservoir) contiene il petrolio e in alto una roccia di copertura lo trattiene. Le rocce di copertura hanno forma convessa verso l'alto e sono impermeabili per meglio trattenere gli idrocarburi. Al contrario, le rocce serbatoio devono essere permeabili e porose come spugne per permettere agli idrocarburi di muoversi al loro interno e, quindi, di venire estratti con facilità. Le dimensioni di un giacimento dipendono dalla quantità di riserve originarie: dagli oltre 11 miliardi di tonnellate del giacimento di Ghawar (Arabia Saudita) a qualche centinaio per i giacimenti più piccoli.

## 2.2.ciclo produttivo

Il processo produttivo del petrolio può essere suddiviso in 5 fasi.

### 1. Ricerca

La ricerca dei giacimenti di petrolio viene fatta con tecnologie varie che richiedono competenze diversificate come la geologia, la chimica e la sismologia. Lo studio avviene inizialmente in superficie per individuare le possibili località sedi di giacimenti: ex fondali marini, rocce di tipo sedimentario. Si passa poi allo studio del sottosuolo per determinare la struttura e la forma delle rocce con il metodo magnetico o con quello gravimetrico che si basano sulla variazione del campo magnetico e di gravità dovuto ai diversi tipi di roccia. Si esegue poi un'analisi sismologica del terreno allo scopo di individuare formazioni rocciose impermeabili con una conformazione tale da poter costituire una trappola petrolifera. Questa analisi viene effettuata facendo esplodere delle cariche. Con opportuni apparecchi poi vengono analizzate le onde sismiche riflesse dagli strati sotterranei e tracciata una mappa del sottosuolo. Vengono successivamente creati dei pozzi stratigrafici per un'analisi in profondità del suolo dal quale si estraggono delle carote di terreno che sono analizzate per scoprirne le caratteristiche chimiche e soprattutto l'età dalla presenza di resti fossili.

### 2. Estrazione.

L'impianto di estrazione è costituito da una torre di trivellazione, un grande traliccio alto circa 27 metri che sostiene la trivella, una specie di grosso trapano che porta sulla estremità uno scalpello, detto sonda di trivellazione. Il

movimento di trivellazione viene trasmesso da un potente motore a una piattaforma di rotazione con un foro quadro, che a sua volta fa girare la prima asta di trivellazione. Le aste sono cave e lunghe 9 metri e, mentre penetrano nel terreno, ne vengono aggiunte di nuove. All'interno delle aste cave viene pompato uno speciale fluido (fango di circolazione) che serve a raffreddare la sonda e a trasportare alla superficie i detriti della lavorazione e cementare le pareti del foro. Una volta raggiunto il giacimento, il petrolio può essere estratto con pompe aspiranti; se invece la pressione all'interno del giacimento è più elevata di quella atmosferica, il petrolio sale spontaneamente. Una volta estratto, il greggio non può essere direttamente utilizzato e perciò viene trasferito mediante navi petroliere (con gravi rischi durante il trasporto) o con gli oleodotti (pipeline) nelle raffinerie dove subisce un trattamento di distillazione.

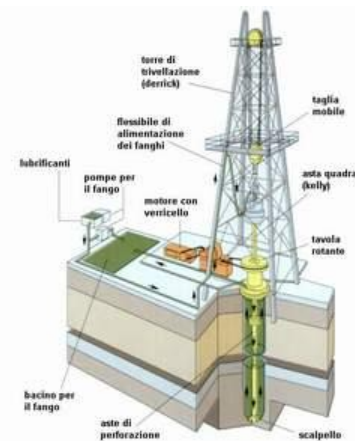


Figura 2.9 estrazione.

3. Trasporto.
4. Raffinazione.

La raffinazione avviene nella torre per la distillazione frazionata (fig. 2.10). Il petrolio greggio, passando attraverso un tubo a serpentina dentro un forno, viene riscaldato a circa 350°C in modo da provocare l'evaporazione dei diversi gruppi di idrocarburi che, risalendo attraverso i camini presenti nei diversi piani della torre, sono costretti a passare nell'acqua che è sul fondo, condensandosi e dando luogo alle varie frazioni che corrispondono ad altrettanti prodotti commerciali:

- gas (metano, propano e butano) utilizzati per uso domestico e per autotrazione;
- benzine, usate come carburante per autoveicoli, aerei e navi;
- nafta, usata come carburante per i motori Diesel;
- cherosene, usato per gli impianti domestici di riscaldamento, per l'illuminazione e come carburante per gli aerei a reazione;

- gasolio, usato per gli impianti di riscaldamento e come combustibile per le centrali elettriche.

Dal fondo della torre durante questa operazione esce il residuo da cui si ottengono gli oli lubrificanti, le paraffine e i bitumi impiegati come impermeabilizzanti e soprattutto nella produzione di asfalto per la copertura delle strade.

## 5. Distribuzione.

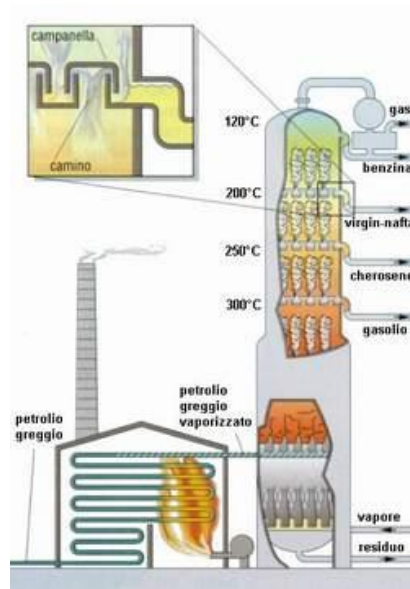


Figura 2.10 distillazione.

### 2.3.prodotti

Dal petrolio si possono ottenere molti prodotti, da alcuni dei più diffusi combustibili (la benzina, il gasolio e altre sostanze dette derivati del petrolio) a molte delle materie plastiche utilizzate dall'uomo.

Gli idrocarburi semplici di cui è composto il petrolio sono, infatti, la materia prima essenziale per produrre materie plastiche che danno una risposta alle molteplici esigenze di materiali plastici con caratteristiche specifiche: resistenza, plasticità, durezza, elasticità, biodegradabilità, indeformabilità, aderenza, impermeabilità, malleabilità, ecc.

I quattro idrocarburi più usati sono l'etilene, il propilene, il butadiene e il benzene. La loro molecola li rende particolarmente adatti a ricomporsi in lunghe catene organizzate. La complessità delle sostanze petrolchimiche viene ricostruita con numerosi passaggi e diversi percorsi produttivi attraverso i quali si giunge a un'infinita varietà di prodotti.

L'etilene è la sostanza di partenza più utilizzata al mondo (5 milioni di tonnellate all'anno). Da solo viene usato per far maturare la frutta più rapidamente e per produrre detergenti con poca schiuma.

Mediante polimerizzazione, si ottiene il polietilene (PE), presente in numerosi imballaggi, oggetti stampati e rivestimenti.

Combinando l'etilene con acqua si ottiene l'alcol etilico, un solvente per profumi, cosmetici, pitture, saponi, coloranti, fibre tessili e materie plastiche.

Combinandolo con il benzene, si ottiene il polistirolo (PS), usato come isolante in edilizia, nonché materia prima per imballaggi delicati e giocattoli.

Combinandolo con il cloro si ottiene il polivinilcloruro (PVC), anch'esso molto utilizzato nel settore edile e per realizzare tessuti impermeabili.

#### 2.4.riserve

Nel 2010 la produzione di petrolio ha coperto il 32,4% dei consumi mondiali di energia (una percentuale che, se si considera anche il gas, sale al 53,8%). Le riserve di questa fonte non sono uniformemente distribuite nel mondo, ma concentrate in alcuni Paesi: il solo Medio Oriente ne possiede il 52%, Centro e Sud America circa il 16% (il 14,8% delle riserve mondiali di petrolio si trova in Venezuela), il Nord America il 14%, la Russia e l'Asia centrale il 7,4%, l'Africa l'8%, l'Asia Pacifica il 3%, mentre l'Europa detiene solo l'1% delle riserve mondiali di petrolio. Confrontando i livelli annuali di produzione del petrolio con quelli relativi alle riserve attualmente accertate si scopre che, mentre il Medio Oriente produce poco rispetto alle sue potenzialità, Stati Uniti ed Europa Occidentale sfruttano le loro riserve a un ritmo elevato. Le nazioni che consumano più petrolio sono, infatti, quelle che meno ne possiedono. L'Europa, ad esempio, consuma ogni anno il 18% della produzione mondiale. Questo significa che, mantenendo l'attuale livello di produzione e in assenza di nuove scoperte, Europa e America del Nord termineranno le loro riserve nel giro di pochi anni e dovranno utilizzare solo il petrolio importato. A livello mondiale, le riserve finora accertate si esauriranno tra circa 50 anni, se saranno mantenuti invariati gli attuali consumi annuali. L'era del petrolio, probabilmente, è destinata a durare ancora diversi anni, ma si prevede che il livello dei consumi energetici mondiali possa crescere in futuro, (crescerà, infatti, la popolazione mondiale e il consumo di energia pro capite), riducendo le riserve di petrolio a un ritmo più veloce di quello attuale.

La possibilità di impedire nuove crisi petrolifere ed energetiche (ovvero una situazione in cui c'è poco petrolio disponibile nei mercati a fronte di una domanda sempre più elevata che porta il suo prezzo a salire rapidamente) dipenderà in futuro dalla capacità dell'industria petrolifera di trovare nuovi giacimenti, ma soprattutto dalla capacità dell'uomo di utilizzare al meglio il petrolio attualmente disponibile.

## 2.5.centrali elettriche

### *2.5.1.centrali a gas*

Nelle centrali elettriche non si usa il petrolio grezzo, bensì un prodotto intermedio della raffinazione, che si chiama olio combustibile. In particolare, nelle centrali termoelettriche a vapore si sfrutta l'energia del vapore, prodotto da una caldaia nella quale si brucia un combustibile liquido, quale l'olio combustibile e la nafta (oppure anche il metano - normalmente le moderne caldaie possono bruciare indifferentemente tutti e tre i tipi di combustibile).

Generalmente i grandi impianti termoelettrici sono installati in prossimità di grandi centri di consumo e necessitano di adeguati rifornimenti di acqua per la produzione di vapore e di depositi di combustibile. La combustione avviene in una zona della caldaia chiamata camera di combustione, con le pareti costituite da un insieme di tubi dove l'acqua si riscalda e si trasforma gradualmente in vapore. Nella camera a combustione arriva il combustibile attraverso apposite aperture, mediante le quali viene immessa, tramite appositi ventilatori, anche l'aria necessaria per la combustione. Seguendo un determinato percorso, i gas prodotti dalla combustione cedono una buona parte del loro calore ed attraversano, all'uscita della caldaia, i preriscaldatori che rilasciano l'aria che verrà immessa nella caldaia; poi passano in una serie di filtri depuratori ed infine vanno nella ciminiera che li disperde nell'aria. Il vapore fa poi girare le pale di una turbina collegata a un alternatore per la produzione di corrente elettrica. Le turbine a vapore sono, con molta approssimazione, paragonabili a quelle idrauliche, ma costruttivamente differiscono notevolmente perché hanno a che fare non con acqua, ma con vapore surriscaldato, con tutti i problemi di temperatura e di tenuta che ne conseguono.

Nei fumi delle centrali termoelettriche sono contenute sostanze inquinanti prodotte durante la combustione dell'olio combustibile. Si tratta di:

- anidride solforosa ( $\text{SO}_2$ ): prodotta dall'ossidazione dello zolfo naturalmente contenuto nei combustibili;
- ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ): prodotti dall'ossidazione dell'azoto contenuto nei combustibili e di quello presente nell'aria;
- polveri: prodotte nel corso del complesso processo fisico-chimico a cui sono sottoposte le particelle dei combustibili all'interno della camera di combustione;
- biossido di carbonio ( $\text{CO}_2$ ): prodotto naturale di tutti i fenomeni di combustione.

Ovviamente gli effetti sull'ambiente delle sostanze sopra menzionate dipendono dalla loro concentrazione. Le moderne centrali termoelettriche sono dotate di sistemi per la riduzione delle emissioni inquinanti, che sfruttano diverse tecnologie:

- denitrificatore: riduce gli ossidi di azoto mescolandoli con ammoniaca e ossigeno per ottenere acqua e azoto molecolare (non inquinante);
- captatore di polveri: grazie all'azione di campi elettrostatici o di filtri, le particelle solide vengono trattenute e non disperse in atmosfera (la capacità attuale di abbattimento raggiunge il 99,9%);
- desolfurazione dei fumi: operazione che consente di eliminare fino al 97% i composti di zolfo presenti nei fumi delle centrali;
- trattamento delle acque: esistono diversi tipi di utilizzo delle acque negli impianti; in ogni caso, prima di essere scaricata, l'acqua viene trattata per eliminare le eventuali sostanze inquinanti presenti e l'immissione nei fiumi o in mare avviene solo quando le concentrazioni di sostanze inquinanti e le temperature sono inferiori ai limiti di legge.

In definitiva tutte le sostanze vengono filtrate e trattenute dai sistemi di abbattimento presenti negli impianti. Per favorire la dispersione in quota delle emissioni residue ed evitare l'inquinamento del suolo, i camini di scarico sono molto alti, in certi casi oltre 200 metri.

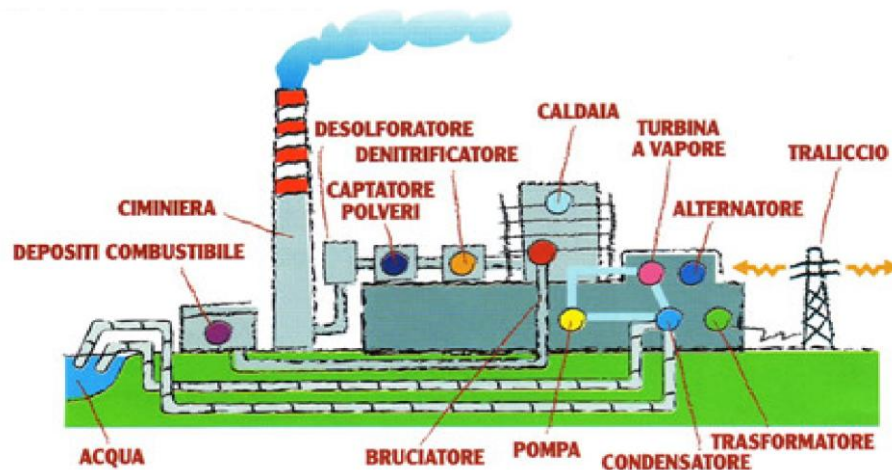


Figura 2.11 centrale elettrica.

### 2.5.2. centrali a turbogas

Nelle centrali a turbogas, al posto della caldaia, viene impiegata una turbina a gas, ossia una macchina termica rotativa che converte il calore in lavoro, usando direttamente i gas combusti come fluido di lavoro, erogando potenza meccanica su un albero rotante.

L'aria aspirata dal compressore viene compressa ed inviata alla camera di combustione dove viene bruciato il combustibile (gasolio, benzinone o anche metano) e la miscela di aria e gas ad alta temperatura viene inviata direttamente nella turbina,

dove avviene la conversione dell'energia termica in quella meccanica. Una parte dell'energia meccanica viene convertita dall'alternatore accoppiato alla turbina in energia elettrica; l'altra parte viene utilizzata per azionare il compressore. In pratica, una centrale a turbogas è basata sullo stesso principio sfruttato nei propulsori degli aerei a reazione, con la differenza che negli aerei la turbina produce solo la parte di energia richiesta per l'azionamento del compressore, mentre la rimanente parte viene sfruttata come getto di gas di pressione per generare la spinta necessaria per il volo. Questo tipo di impianto presenta diversi vantaggi: costi ridotti, la possibilità di avviamento anche in caso di mancanza di energia dalla rete, semplicità e rapidità di costruzione e infine il fatto che non necessita di acqua di raffreddamento, il che permette di ubicarlo in qualsiasi zona, anche sprovvista di rifornimento idrico.

### **3.il gas naturale**

#### 3.1.classificazione

Il gas naturale è un gas incolore, inodore, non tossico, che brucia all'aria con fiamma bluastria; è costituito da un atomo di carbonio e quattro di idrogeno con formula chimica  $CH_4$ . Il metano è il principale componente del gas naturale, cioè il combustibile gassoso di origine fossile formatosi, generalmente insieme al petrolio, centinaia di milioni di anni fa, per decomposizione chimica dei vegetali in assenza di ossigeno (fermentazione anaerobica).

Il gas naturale è la migliore forma attuale di combustibile/carburante all'idrogeno, esistente in natura e prontamente utilizzabile, e il combustibile fossile meno dannoso per l'ecosistema terrestre e la salute pubblica.

Esistono tre tipologie di utilizzo:

- Gas naturale: Da un punto di vista geologico il gas naturale è la fase gassosa del petrolio. Esso è costituito in massima parte da metano e per il resto da quantità variabile, a seconda dei giacimenti, di idrocarburi paraffinici superiori quali etano, propano, butano, pentano, ecc.. Trova larghissime applicazioni nell'uso domestico, nell'industria e, come materia prima, nell'industria petrolchimica.
- Gas Naturale Compresso (GNC) viene utilizzato per autotrazione e distribuito a circa 220 bar in veicoli dotati di appositi sistemi di trasporto e stoccaggio (bombole). Inizialmente ebbe una notevole diffusione in Italia negli anni 30, per sopperire alla mancanza di petrolio nazionale. Oggi viene promosso in tutto il mondo come combustibile ecologico da utilizzarsi preferibilmente in aree



urbane particolarmente inquinate. Oltre all'Italia, sono da annoverare fra i paesi a più alta concentrazione di veicoli a GNC l'Argentina e la Nuova Zelanda.

- Gas naturale liquefatto (GNL) costituito prevalentemente da metano liquefatto per raffreddamento a  $-161^{\circ}\text{C}$ , a pressione atmosferica, allo scopo di renderlo idoneo al trasporto mediante apposite navi cisterna oppure allo stoccaggio. Per essere utilizzato, il prodotto liquido deve essere poi riconvertito allo stato gassoso in particolari impianti di rigassificazione e portato alla pressione di esercizio dei gasdotti.

### 3.2.riserve

Agli attuali consumi le riserve accertate di gas naturale sono sufficienti per 60-65 anni. La sua diffusione è abbastanza distribuita: le regioni con minori riserve sono quelle americane, le maggiori ancora le regioni dell'area del Golfo Persico dove sono concentrati più di un terzo dei giacimenti accertati.

Oltre alle riserve certe il metano può derivare anche da produzioni "artificiali", in qualche misura può essere una fonte rinnovabile derivante dalla fermentazione anaerobica di sostanze organiche.

In seguito all'aumento della produzione zoo-agricola e al conseguente aumento di scarti e deiezioni, unitamente alla maggior sensibilità nei confronti della produzione di energia da fonti diversificate, sono stati messi a punto digestori anaerobici che permettono di produrre effluenti gassosi (principalmente metano) da liquami, utilizzando alcuni microrganismi in grado di metabolizzare i composti organici. Per esempio da 120 tonnellate di liquami animali al giorno (equivalente alle deiezioni di 12.000 maiali) si possono ottenere 200 m<sup>3</sup> di metano.

Il metano può essere ricavato anche dalle miniere di carbone, sia pure dismesse. Le miniere di carbone possono essere sfruttate per fini energetici con le tecnologie per il recupero del metano autoprodotta dalle miniere sia nuove che dismesse; tali tecnologie sono collaudate ed efficienti: permettono di risparmiare e conservare la maggior parte del carbonio contenuto nel carbone e nel contempo impedire l'emissione del metano in atmosfera depurando il carbone da questo gas serra.

Questa tecnologia permette anche la custodia e la prevenzione degli incidenti che spesso si verificano nelle miniere abbandonate e che sono causa non irrilevante di inquinamento atmosferico e degrado ambientale.

### 3.3.produzione di energia

Grazie ai suoi numerosi benefici economici e ambientali, negli ultimi anni il gas naturale si è trasformato nel combustibile fossile preferito per la produzione di elettricità. Negli

anni 70 e 80 la produzione energetica era orientata verso il carbone e le centrali nucleari, ma una combinazione di fattori economici, ambientali e tecnologici ha provocato uno spostamento verso il gas.

### *3.3.1. centrali a vapore*

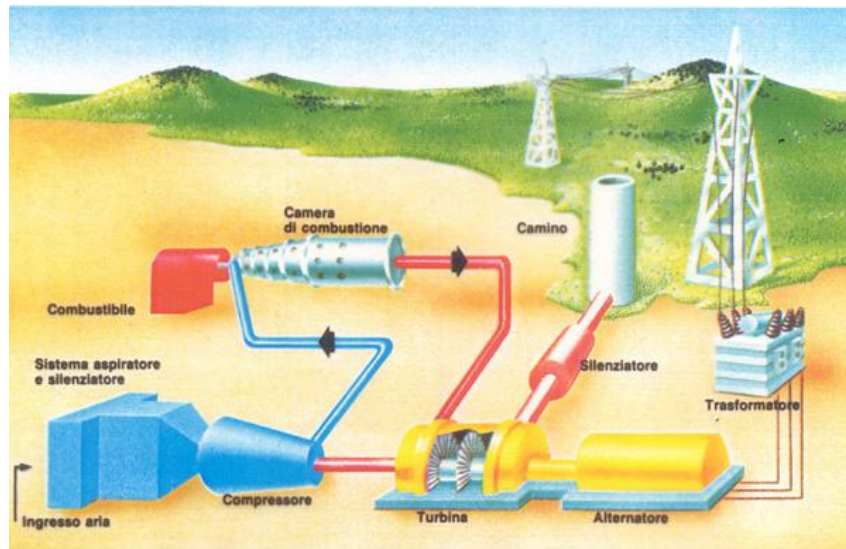
Il gas naturale può essere utilizzato come combustibile nelle centrali elettriche a vapore per produrre il vapore che, ad alta pressione, mette in moto la turbina che a sua volta fa girare l'alternatore. Per creare vapore ad alta pressione si surriscalda l'acqua in una caldaia: chiudendo ermeticamente il recipiente, il vapore aumenta di pressione per poi fuoriuscire con violenza diretto verso la turbina. Per quanto riguarda il rendimento di tali centrali, circa il 40% dell'energia contenuta nel combustibile viene trasformato in elettricità; il restante 60% viene perso nelle conversioni di energia da chimica a termica, a meccanica, a elettrica.

### *3.3.2. centrali a turbogas*

Il gas naturale può essere utilizzato anche nelle centrali elettriche a turbogas. Queste sono centrali termoelettriche in cui si sfrutta direttamente l'energia prodotta dalla combustione di metano (o gasolio) e funzionano senza la caldaia per trasformare acqua in vapore e senza condensatore per ritrasformare il vapore in acqua. Le parti che compongono una centrale a turbogas sono:

- compressore: aspira l'aria dall'atmosfera, la comprime e la invia alla camera di combustione;
- camera di combustione: dove avviene la combustione tra l'aria e il combustibile (metano o gasolio);
- turbina a gas: la miscela di aria e gas ad alta temperatura entra in una turbina dove l'espansione dei gas combusti mette in rotazione le pale del rotore che a sua volta mette in rotazione l'alternatore generando elettricità.

I vantaggi delle centrali a turbogas sono i costi ridotti dell'impianto, la rapidità di avviamento anche in caso di mancanza di energia dalla rete e il fatto che non necessitano di acqua di raffreddamento: è quindi possibile costruire in qualsiasi zona, anche lontano da fiumi e dal mare. Lo svantaggio è il bassissimo rendimento (circa il 30%) e quindi l'altissimo costo dell'energia.



**Figura 2.12** centrale a turbogas.

### 3.3.3. centrali a ciclo combinato

I sistemi a ciclo combinato e quelli di cogenerazione sono le tecnologie più efficienti per produrre l'elettricità da gas naturale. Infatti, entrambi i sistemi utilizzano il calore che normalmente veniva perso.

Le centrali a ciclo combinato sfruttano il calore generato per produrre elettricità. In tali sistemi vengono associate una centrale a turbogas e un gruppo a vapore: il calore residuo dei fumi in uscita del gruppo turbogas viene utilizzato per produrre vapore, facendo così aumentare il rendimento fino al 56%. Inoltre le centrali a ciclo combinato hanno minori costi di costruzione e manutenzione, e hanno un'affidabilità di funzionamento maggiore.

Gli impianti a ciclo combinato rappresentano la scelta più sostenibile nella generazione termoelettrica, garantendo un basso impatto complessivo sulle risorse ambientali. In particolare, l'utilizzo del gas naturale garantisce un impatto ambientale molto contenuto in termini di inquinamento atmosferico locale. Rispetto all'utilizzo del carbone e dell'olio combustibile, infatti, si eliminano le emissioni di ossidi di zolfo e di polveri e si riducono quelle di ossidi di azoto, grazie all'introduzione di tecnologie all'avanguardia nella combustione. In termini di inquinamento atmosferico globale, il binomio gas naturale - ciclo combinato rappresenta una delle migliori alternative per ridurre le emissioni di gas a effetto serra. Il gas naturale è la fonte fossile la cui combustione genera la minor quantità di anidride carbonica a parità di energia fornita: il fattore di emissione è inferiore di circa il 26% a quello ottenuto dalla combustione dei derivati dal petrolio e di circa il 41% rispetto al carbone.



## **CAPITOLO 3**

### **Combustibili nucleari**

L'atomo è la parte più piccola di ogni elemento presente in natura che ne conserva le proprietà chimiche. È costituito da un nucleo (formato da protoni e neutroni) circondato da elettroni in grado di promuovere reazioni chimiche che possono produrre energia (si pensi alle reazioni di combustione). L'impiego dell'energia nucleare nasce dalla possibilità di utilizzare le grandi energie presenti nel nucleo dell'atomo, ben maggiori rispetto alle energie ottenute da reazioni chimiche dove il nucleo dell'atomo non è coinvolto. L'energia nucleare può essere prodotta sia attraverso la fissione nucleare (separazione dei nuclei di materiali radioattivi pesanti) sia attraverso la fusione (unione di nuclei di elementi leggeri). Delle due reazioni, la fissione è l'unica realizzabile e controllabile dall'uomo, con i necessari accorgimenti tecnici legati alla prevenzione degli incidenti ed alla gestione delle scorie radioattive.

Invece, per quanto riguarda la fusione, essa non è ancora realizzabile per periodi di tempo sufficienti ad una produzione continua di energia. Infatti, non esiste ancora alcun dispositivo in grado di contenere e mantenere confinato per un tempo sufficiente l'idrogeno alle altissime temperature che rendono possibile l'aggregazione dei nuclei.

#### **1.i processi di fissione e fusione**

Si ha fissione nucleare quando un nucleo pesante si scinde in due nuclei più piccoli di massa confrontabile.

Questa trasformazione può avvenire spontaneamente, oppure può essere stimolata bombardando con neutroni un nucleo pesante, che in tal caso si dice fissile. Ne sono esempi l'uranio-235 e il plutonio-239. Quando un neutrone colpisce un nucleo di uranio-235, questo si scinde in due nuclei. I neutroni emessi all'interno della massa dell'uranio-235 possono urtare altri nuclei e provocarne la fissione con liberazione di altra energia e altri neutroni. Se la quantità di elemento radioattivo supera una certa massa detta critica, i neutroni prodotti sono in numero sufficiente a innescare una reazione a catena, cioè la fissione praticamente simultanea di tutti i nuclei fissili, che sfocia in un'esplosione nucleare. La massa critica del plutonio-239, per esempio, è pari a circa 15 kg, ma se l'elemento è particolarmente compresso può scendere fino a 5 kg, corrispondente a una sfera delle dimensioni di un'arancia.

Nelle reazioni di fusione nucleare due nuclei leggeri si fondono per darne uno più pesante.

Nella reazione di fusione più comune quattro nucleoni si uniscono dando luogo alla formazione di un nucleo di elio. Poiché si sviluppa una forte repulsione quando i protoni si avvicinano l'uno all'altro, è molto difficile ottenere in pratica la fusione nucleare. Essa avviene invece nel Sole (e nelle altre stelle) grazie all'elevatissima temperatura che si raggiunge nella sua parte centrale: l'agitazione termica delle particelle, e quindi la loro energia cinetica, è così grande che esse sono in grado di vincere la forza repulsiva che altrimenti le allontanerebbe.

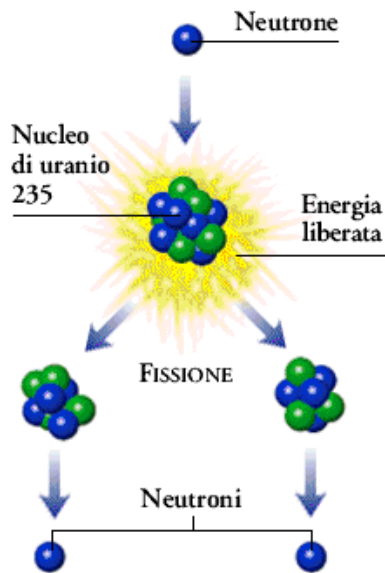


Figura 3.1 fissione nucleare.

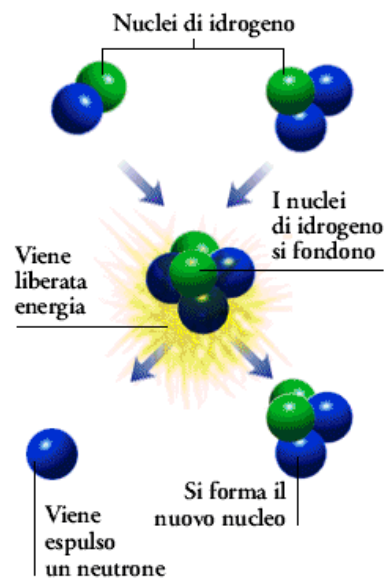


Figura 3.2 fusione nucleare.

## 2.le centrali elettronucleari

Una centrale nucleare consente la produzione di vapore senza l'utilizzo di combustibili fossili. Il reattore nucleare si comporta come una qualunque caldaia e il vapore così generato può essere utilizzato per azionare una turbina connessa a un generatore di elettricità.

In particolare, il cuore del reattore di una centrale nucleare a fissione si dice nocciolo e, di solito, ha forma cilindrica. Il nocciolo è immerso in un fluido, per esempio acqua, ed è formato da barre di uranio, anch'esse cilindriche, lunghe circa 3 metri e con un diametro di qualche centimetro. Intervallate ad esse, vi sono delle barre di controllo movimentabili meccanicamente capaci di assorbire neutroni proporzionalmente al loro inserimento nel nocciolo. In questo modo la reazione a catena viene controllata e, se necessario, può essere anche arrestata. Nei reattori di tipo più comune l'acqua contenuta nel nocciolo, riscaldata dalla fissione dell'uranio, viene fatta circolare da una

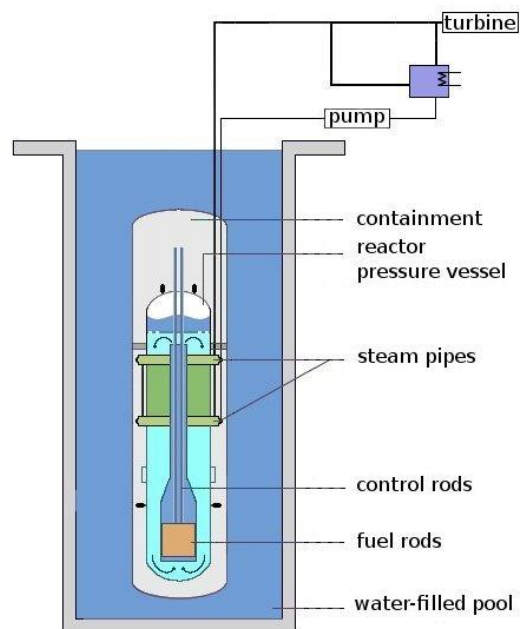
pompa fino a uno scambiatore di calore in cui si raffredda producendo del vapore che, a sua volta, fa girare la turbina della centrale.

Un reattore si caratterizza per tipo di combustibile, di refrigerante e per l'architettura interna del nocciolo. Ad esempio, si parla comunemente di reattori ad acqua leggera e ad acqua pesante.

### 2.1.reattori ad acqua leggera

Nei reattori ad acqua leggera, il combustibile è costituito da barrette del diametro di circa 1 cm di ossido di uranio arricchito in uranio 235 (arricchimenti di circa il 3%). L'acqua, circolando tra le barrette di combustibile, svolge sia la funzione di moderatore, rallentando i neutroni nati veloci dal processo di fissione, sia quella di refrigerante, asportando l'energia ceduta all'atto della fissione.

Tutto il nocciolo è contenuto in un recipiente a pressione d'acciaio, in cui vi sono aperture per l'ingresso e l'uscita del refrigerante. Intorno al recipiente e alle parti attive del reattore sono predisposti degli schermi per assorbire le radiazioni: lo schermo termico (in metallo) assorbe prevalentemente le radiazioni gamma, quello biologico (in calcestruzzo) i neutroni. Naturalmente hanno grande importanza i sistemi di sicurezza e di emergenza necessari per far fronte agli eventuali incidenti d'impianto.



**Figura 3.3** reattore ad acqua leggera.

### 2.2.reattori ad acqua pesante

I reattori ad acqua pesante impiegano come combustibile l'uranio naturale, non arricchito. Esistono inoltre reattori di concezione più avanzata, detti veloci, che

vengono raffreddati con metallo liquido e funzionano con combustibile fortemente arricchito, convertendo l'uranio 238 in plutonio senza utilizzare un moderatore che rallenti i neutroni. Tali impianti sono molto attraenti per la loro capacità di produrre nuovo combustibile fissile ma mostrano (ad ora) delle complessità tecnologiche superiori a quelle dei reattori ad acqua ed un costo dell'energia superiore.

### 2.3.la scala IAEA

La IAEA (International Atomic Energy Agency) ha stabilito una scala (scala INES - International Nuclear Event Scale) di gravità degli eventi possibili in una centrale nucleare o in altra installazione, che si articola nei seguenti 8 livelli:

- livello 0 (deviazione): evento senza rilevanza sulla sicurezza;
- livello 1 (anomalia): evento che si differenzia dal normale regime operativo, che non coinvolge malfunzionamenti nei sistemi di sicurezza, né rilascio di contaminazione, né sovraesposizione degli addetti;
- livello 2 (guasto): evento che riguarda il malfunzionamento delle apparecchiature di sicurezza, ma che lascia una copertura di sicurezza sufficiente per malfunzionamenti successivi, o che risulta in esposizione di un lavoratore a dosi eccedenti i limiti e/o che porta alla presenza di radionuclidi in aree interne non progettate allo scopo e che richiede azione correttiva;
- livello 3 (guasto grave): un incidente sfiorato, in cui solo le difese più esterne sono rimaste operative, e/o rilascio esteso di radionuclidi all'interno dell'area calda, oppure effetti verificabili sugli addetti;
- livello 4 (incidente grave senza rischio esterno): evento causante danni gravi all'installazione (ad esempio fusione parziale del nucleo) e/o sovraesposizione di uno o più addetti che risulti in elevata probabilità di decesso, e/o rilascio di radionuclidi tali che la dose critica cumulativa sia bassa;
- livello 5 (incidente grave con rischio esterno): evento causante danni gravi all'installazione e/o rilascio di radionuclidi che possa sfociare nell'impiego di contromisure previste dai piani di emergenza;
- livello 6 (incidente serio): evento causante un significativo rilascio di radionuclidi e che potrebbe richiedere l'impiego di contromisure, comunque meno rischioso dell'incidente di livello 7;
- livello 7 (incidente molto grave): evento causante rilascio importante di radionuclidi, con estesi effetti sulla salute e sul territorio.

I casi di incidenti gravi con estese contaminazioni esterne sono fortunatamente stati pochi; molto più numerosi e spesso poco noti sono gli incidenti con potenziale rischio esterno dovuti principalmente a errori umani e che sono stati confinati all'interno delle



centrali grazie alle misure di sicurezza ed in qualche caso anche grazie alla fortuna, come nel caso di Browns Ferry, in cui un gruppo di tecnici provocarono un incendio nel tentativo di riparare una perdita d'aria da un tubo. Continui e molto frequenti sono gli eventi di livello 0 e 1, sia in occidente che nel resto del mondo, e sono registrati sul sito dell'IAEA.

### **3.riserve e costo della materia prima**

#### 3.1.riserve

La fonte energetica primaria utile al funzionamento delle centrali termo-elettronucleari è ricavata, all'attuale stato dell'arte, dall'uranio, più precisamente dall'isotopo U-235.

Quasi il 90% dei minerali contenenti uranio utilizzabile è concentrato in soli 10 paesi :

1. Australia	1143000	Tonnellate
2. Kazakhstan	816099	
3. Canada	443800	
4. USA	342000	
5. South Africa	340596	
6. Namibia	282359	
7. Brazil	278700	
8. Niger	225459	
9. Russia	172402	
10. Uzbekistan	115526	

L'Italia ha giacimenti per 6100 tonnellate, sufficienti ad alimentare per 30 anni una sola centrale EPR (Evolutionary Power Reactor). Il nucleare, quindi, è inadatto a sviluppare indipendenza energetica in Italia e nella maggior parte degli altri paesi.

La fissione di un grammo U-235 produce 68 GJ di energia termica: questo dato spesso lascia ad intendere che i sistemi ad energia nucleare siano ad altissima densità energetica, ma U-235 non si trova libero in natura (un grammo di U-235 si ricava, mediamente, da 7 tonnellate di minerale lavorato in miniera). Di conseguenza il potere calorifico del minerale contenente U-235 è, mediamente, di 10 MJ/kg.

Il potere calorifico del petrolio è di 42 MJ/kg, quello del carbone di 30 MJ/kg e per la legna 17 MJ/kg. Quindi dire che il nucleare implica una fonte energetica ad altissima densità è per lo meno opinabile e nel migliore dei casi è comunque sullo stesso ordine di grandezza degli altri combustibili.

#### 3.2.mercato e costo

Il costo della materia prima da cui si ricava il combustibile nucleare è aumentato dell'800% in pochi anni, questo indica che:

- la materia prima è scarsa (alcuni analisti ritengono che il picco di estrazione dell'uranio sia più imminente del picco del petrolio);
- I pochi paesi grandi produttori possono formare un cartello per imporre il prezzo di mercato;
- I paesi non produttori sono quindi soggetti a subire i prezzi dei paesi produttori, come avviene per il petrolio.

Le attuali centrali nucleari non subiscono comunque una grossa penalizzazione dall'aumento esponenziale del costo dell'uranio, in quanto lo stesso incide marginalmente sulla componente di costo; in ultima analisi un aumento dell'800% del prezzo della materia prima incide per un 20% di aumento del costo del kWh prodotto in centrale. Questo non esclude però che la costruzione di nuove centrali porti ad un aumento insostenibile del prezzo dell'uranio: il vero rischio sta nel fatto che il mercato non riesca a soddisfare gli aumenti della domanda di materia prima.

#### **4. Impatto ambientale**

Lo sfruttamento dell'energia nucleare comporta l'impiego e la produzione di materiali che emettono radiazioni alfa, beta e gamma che danneggiano in modo grave i tessuti biologici, in quanto possono intaccare il patrimonio genetico delle cellule, causando il cancro o mutazioni genetiche ereditarie.

I rischi immediati sono rappresentati dalla radioattività che tali impianti sprigionano, nelle zone dove sono installati, dai fluidi di raffreddamento contaminati e dal pericolo di incidenti fortuiti, che prima sembravano tecnicamente impossibili, ma che gli incidenti di Three Mile Island e di Chernobyl hanno dimostrato tragicamente probabili. I rischi futuri provengono dall'accumulo delle scorie della fissione, che conserveranno per millenni la loro radioattività residua.

L'impianto, come tutte le altre centrali del resto, occupando una certa superficie, normalmente recintata, allontana dalla zona la fauna e i vari edifici connessi al suo funzionamento comportano sempre un certo impatto sull'ambiente dal punto di vista paesaggistico.

Nella sala macchine sia le turbine, sia i generatori di corrente producono un rumore costante di parecchi decibel che, a lungo andare, provoca danni all'udito degli operatori, per cui, questi, devono essere sottoposti a periodici controlli medici.

Le macchine elettriche, quali gli alternatori e le dinamo, per effetto dello strisciare delle spazzole sul collettore generano un certo scintillio. L'arco voltaico scompone l'Ossigeno dell'aria  $O_2$  in  $O$ , che legandosi poi ad altre molecole, forma Ozono  $O_3$ , gas velenoso dal caratteristico odore di aglio.

Per molti anni l'energia nucleare è apparsa come la possibile soluzione al fabbisogno energetico dell'umanità. Oltre agli Stati Uniti, molti Paesi si buttarono sulla strada nucleare, in particolare Gran Bretagna e Francia (ben presto il Paese con il maggior numero di centrali nucleari).

In seguito nacquero problemi di sicurezza, messi in evidenza da incidenti particolarmente gravi, come quelli di Three Miles Island in Pennsylvania nel 1979 e di Chernobyl nell'ex Unione Sovietica nel 1986. Molti Paesi decisero di bloccare i loro programmi nucleari e spesso addirittura di chiudere gli impianti in funzione: è il caso dell'Italia.

Da qualche anno si è ripreso a parlare della necessità di sfruttare l'energia nucleare che, priva di emissioni di anidride carbonica, non contribuisce all'effetto serra.

I problemi dell'energia nucleare rimangono però legati alla sicurezza delle centrali, dove il reattore deve essere protetto per evitare perdite di materiale radioattivo. Infatti le particelle emesse da elementi radioattivi, se vengono a contatto con le cellule di un organismo animale o vegetale, producono danni molto gravi ai tessuti biologici e possono causare malattie, rilevabili a volte solo dopo molti anni.

Esiste inoltre il problema dello smaltimento del materiale utilizzato nel funzionamento dei reattori, perché i residui del combustibile nucleare restano radioattivi anche per migliaia di anni. Si tratta perciò di confinare i rifiuti radioattivi in robusti contenitori e di soterrarli a grandi profondità, e in ogni caso non esiste l'assoluta certezza che i contenitori resistano fino a che la radioattività non sarà esaurita.



## CAPITOLO 4

### Tipologia degli impianti di produzione alimentati da fonti rinnovabili (IARF)

Per impianto di produzione alimentato da fonti rinnovabili si intende il sistema integrato di opere e macchinari finalizzati alla produzione di energia elettrica costituito da uno o più gruppi di generazione. Le tipologie degli impianti di produzione (con relative subtipologie degli impianti) alimentati da fonti rinnovabili, che possono richiedere la qualificazione IARF, verranno riportati nel seguente capitolo.

#### 1.impianti idroelettrici

##### 1.1.principio e schema di funzionamento

L'energia idraulica, chiamata anche energia idroelettrica o energia idrica, è quel tipo di energia che si origina sfruttando il movimento di grandi masse di acqua in caduta. La massa d'acqua, cadendo, produce energia cinetica che, grazie a una turbina e a un alternatore, viene poi trasformata in energia elettrica.

La conversione dell'energia potenziale si realizza, pertanto, deviando l'acqua dell'alveo naturale del fiume su un percorso che consenta di rendere disponibile sotto forma di energia meccanica utile una parte dell'energia potenziale che viene invece normalmente dissipata per attrito.

La produzione di energia dipende da due fattori principali:

- salto geodetico (head):

a) lordo: differenza di altezza fra la superficie libera della sezione di presa dell'acqua ed il livello nella sezione del corso d'acqua dove il flusso è restituito; dipende dall'orografia del luogo e può presentare ampi margini di variazione (da 1 a 1500 m);

b) netto o motore: è la caduta effettivamente utilizzata alla turbina, ossia il salto lordo meno le perdite che si verificano all'opera di presa e quelle dovute al sistema di trasporto dell'acqua (canali, tubazioni, condotte forzate, ecc.);

- portata (flow rate): definisce il volume di acqua che attraversa una determinata sezione del corso d'acqua nell'unità di tempo; è estremamente variabile e dipende dalla superficie del bacino oltre che dalla permeabilità del suolo, dalla vegetazione e soprattutto dai fattori climatici che possono generare sia apporti positivi (precipitazioni), sia negativi (l'evaporazione).

Un impianto idroelettrico sfrutta il salto geodetico individuato fra due sezioni di un corpo d'acqua, o fra due bacini idrici, prelevando l'acqua alla quota superiore, inviandola attraverso opportune canalizzazioni ad una turbina idraulica e restituendola poi a una

quota inferiore. È costituito da opere civili, idrauliche e da macchinari elettromeccanici. Lo schema impiantistico generale comprende:

1. un'opera di sbarramento del corso d'acqua, costituita da una traversa o da una diga, che può determinare un volume d'invaso in alveo tale da consentire o no l'accumulo delle portate naturali con una o più paratoie di presa, seguite da una vasca di calma per la sedimentazione della sabbia trasportata dalla corrente e paratoie di scarico per la pulizia del bacino contro il suo interrimento;
2. Un canale di deviazione che può essere in tutto o in parte in galleria e una vasca di carico solitamente dotata di organi di scarico;
3. una o più condotte forzate che convogliano l'acqua alle turbine idrauliche;
4. un impianto di produzione dell'energia elettrica, in cui sono installate uno o più gruppi turbina-generatore, che scaricano l'acqua turbinata nell'alveo del corso d'acqua a valle dell'impianto, mediante il canale di restituzione, senza alcun consumo dell'acqua prelevata a monte.

### 1.2.classificazione degli impianti

Una prima classificazione permette di distinguere gli impianti idroelettrici, indipendentemente dalla tecnologia impiegata, in base ai valori di portata e di salto disponibile (quindi di potenza), fra impianti di piccola, media e grande taglia.

	<b>portata d'acqua</b>	<b>salto lordo</b>	<b>potenza netta</b>
<b>piccola taglia</b>	< 10 m <sup>3</sup> /s	< 50 mt	< 5 MW
<b>media taglia</b>	10-100 m <sup>3</sup> /s	50-250 mt	5-200 MW
<b>grande taglia</b>	> 100 m <sup>3</sup> /s	> 250 mt	>200 MW

**Figura 4.2** classificazione degli impianti idroelettrici.

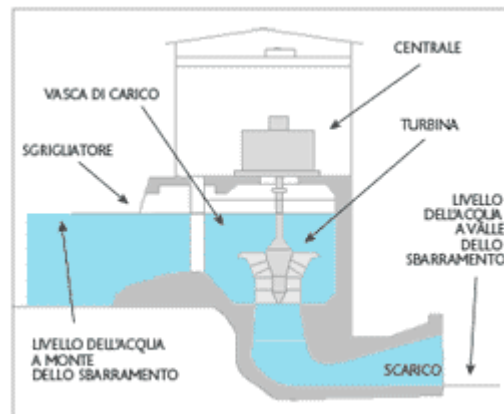
Gli impianti di piccola taglia vengono a loro volta suddivisi in micro-idro (potenze inferiori a qualche centinaio di KW) e mini-idro.

La seconda classificazione viene svolta in base alla configurazione dell'impianto (che peraltro non è scelta in maniera del tutto indipendente dai valori del salto geodetico e della portata) permettendo di individuare tre tipologie:

- impianti idroelettrici ad acqua fluente;
- impianti idroelettrici a serbatoio (o a bacino);
- impianti a pompaggio.

Gli impianti ad acqua fluente vengono realizzati lungo il corso di un fiume e, attraverso un opportuno sbarramento provvisto di specifiche opere di presa, viene derivata una

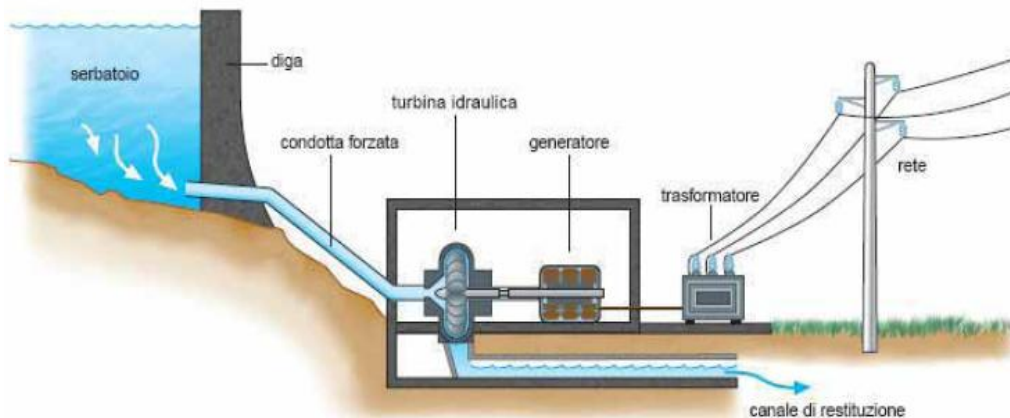
parte della portata disponibile, lasciando scorrere tuttavia la quantità minima di acqua (detta appunto DVM – deflusso minimo vitale), che serve a garantire la sopravvivenza della flora e della fauna del fiume. La particolarità di questi impianti è che operano con una portata d'acqua strettamente legata a quella del corso d'acqua e dunque variabile durante l'arco dell'anno. Si tratta tipicamente di impianti a medio-bassa caduta, ma talvolta con elevatissimi valori della portata.



**Figura 4.3** schema di funzionamento di una centrale idroelettrica ad acqua fluente.

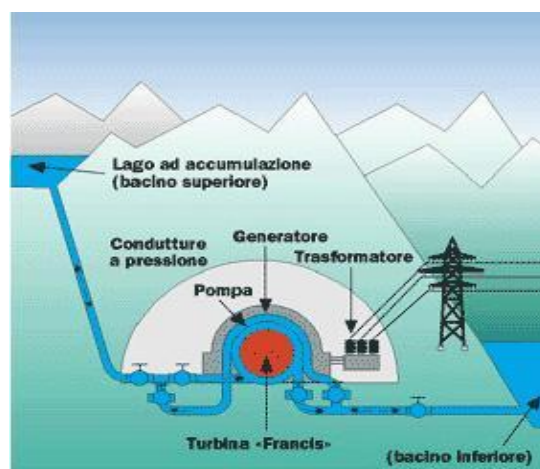
Un impianto ad acqua fluente è costituito dalla traversa, che ha il compito di indirizzare l'acqua verso la griglia di presa, da una tubazione (realizzata da una condotta forzata, eventualmente preceduta da un tratto di canale a pelo libero) per il convogliamento dell'acqua e dalla centrale idroelettrica. Quest'ultima ospita il macchinario idraulico, costituito dalla turbina, dal generatore elettrico e dagli organi di regolazione e controllo. L'acqua viene poi restituita al fiume attraverso un corto canale di scarico.

Negli impianti idroelettrici a bacino (o a serbatoio) lo sbarramento viene sostituito da una vera e propria diga che consente l'accumulo di grandi volumi d'acqua e il successivo prelievo differito nel tempo, anche in accordo al diagramma di carico della rete elettrica. A rigore, secondo una classificazione largamente utilizzata in Italia, gli invasi sono classificati in serbatoi e bacini in relazione alla loro durata di invaso. Essi conferiscono elasticità di servizio alla centrale perché si riesce a regolare in qualsiasi momento la quantità di acqua utilizzata in base alla richiesta di energia.



**Figura 4.4** schema di funzionamento di una centrale idroelettrica a bacino.

Gli impianti di pompaggio prevedono due serbatoi, uno a monte e uno a valle. In relazione alla loro natura gli impianti di pompaggio in realtà non sono dei veri e propri impianti di generazione elettrica, ma svolgono una funzione estremamente utile nell'ambito della gestione della rete di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica. Infatti, durante i periodi nei quali la disponibilità di energia elettrica sulla rete è superiore alla richiesta da parte delle utenze, l'energia elettrica in eccesso viene utilizzata per portare l'acqua dal bacino di valle a quello di monte, mentre durante i periodi di massima richiesta di energia elettrica l'acqua del bacino di monte viene utilizzata per produrre energia elettrica. La caratteristica di questi impianti è quella di essere dotati sia di macchine idrauliche motrici (turbine) sia di macchine idrauliche operatrici (pompe), spesso rappresentate da un'unica macchina idraulica con funzionamento reversibile.



**Figura 4.5** schema di funzionamento di un impianto di pompaggio.

Un'interessante possibilità, solo di recente presa in considerazione, sono gli impianti inseriti in un canale o in una condotta per approvvigionamento idrico (impianti in condotte idriche). L'acqua potabile è approvvigionata ad una città adducendo l'acqua



da un serbatoio di testa mediante una condotta; solitamente in questo genere di impianti la dissipazione dell'energia all'estremo più basso della tubazione, in prossimità dell'ingresso all'impianto di trattamento acque o alla rete di distribuzione, viene conseguita mediante l'uso di apposite valvole. Un'alternativa interessante è quella di inserire una turbina che recuperi l'energia che altrimenti verrebbe dissipata: si ha così un recupero energetico, che può essere effettuato anche in altri tipi di impianti come sistemi di canali di bonifica, circuiti di raffreddamento di condensatori, sistemi idrici vari.

### 1.3. impatto ambientale

Per un impianto idroelettrico le uniche fonti di impatto ambientale sono di fatto quelle di tipo acustico, visivo e di modifica dell'ecosistema locale.

Infatti, un impianto idroelettrico non produce emissioni di sostanze inquinanti di tipo solido, liquido o gassoso e neppure emissioni termiche. L'impatto ambientale prodotto è di tipo locale, in quanto incide solo nella zona circostante l'impianto idroelettrico.

Per quanto riguarda l'impatto sonoro gli effetti sono di modesta entità e localizzati solo in prossimità della centrale elettrica. Si tratta infatti, per lo più, dei rumori dovuti alla turbina idraulica ed all'eventuale moltiplicatore di giri (i livelli di rumore prodotti nel macchinario idraulico rilevati all'interno della centrale sono solitamente compresi tra i 70 e 80 dBA). Per limitare tali effetti si ricorre a macchine il più silenziose possibili, oppure si cerca di isolare l'edificio contenente le fonti di rumore.

Gli altri effetti dovuti all'installazione di una centrale idroelettrica in una certa zona sono quelli di tipo visivo, in quanto l'inserimento di elementi estranei determina comunque una modifica del paesaggio. Questo effetto può essere ridotto cercando di mascherare il più possibile gli elementi inseriti. Ad esempio si può pensare di ricoprire le condotte a pelo libero, oppure si può interrare o mascherare con elementi naturali le condotte forzate, nonché pitturarle con colori facilmente integrabili con il paesaggio circostante. L'impatto visivo è naturalmente molto più evidente e meno facilmente mascherabile nel caso di centrali idroelettriche a bacino.

Altre conseguenze da prendere in considerazione sono quelle legate al cambiamento dell'habitat della flora e della fauna che popola la zona in cui si inserisce la centrale. Il rischio maggiore è quello legato alle modifiche introdotte nei corsi d'acqua, ragion per cui è sempre necessario garantire un deflusso minimo vitale che consenta il mantenimento delle condizioni di vita richieste dai pesci e che non comporti pericoli di eutrofizzazione dell'acqua. Inoltre per evitare che gli sbarramenti introdotti ostacolino il passaggio dei pesci spesso si ricorre alla realizzazione di percorsi preferenziali.

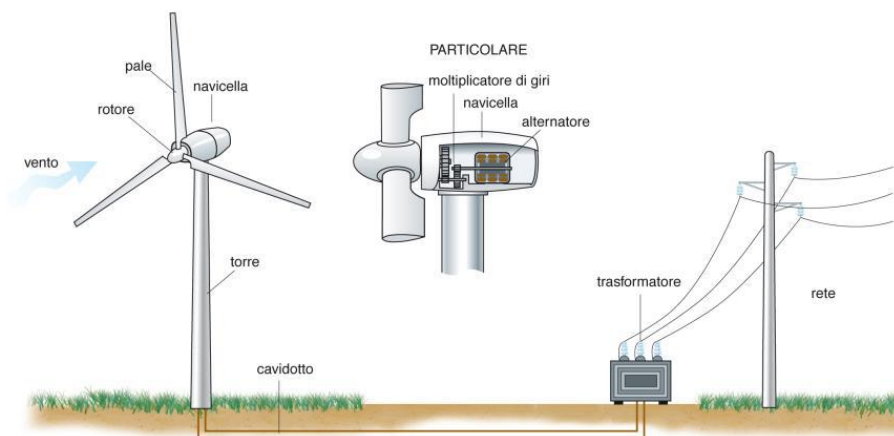
## 2.impianti eolici

### 2.1.principio e schema di funzionamento

Un impianto eolico (o parco eolico) è costituito da uno o più aerogeneratori che trasformano l'energia cinetica del vento in energia elettrica.

Il funzionamento di un aerogeneratore è legato alla presenza di masse d'aria in movimento: il vento fa ruotare un rotore, normalmente dotato di due o tre pale, generalmente in fibre di vetro, collegate ad un asse. La rotazione è successivamente trasferita, attraverso un apposito sistema meccanico di moltiplicazione dei giri, ad un generatore elettrico e l'energia prodotta, dopo essere stata adeguatamente trasformata ad un livello di tensione superiore, viene immessa nella rete elettrica. La navicella (gondola) o genericamente struttura di alloggiamento, contiene i sistemi di trasformazione (principalmente il moltiplicatore di giri ed il generatore elettrico) e di controllo della macchina. Le turbine eoliche sono infine montate su una torre sufficientemente alta per catturare maggiore energia dal vento, evitando la turbolenza creata dal terreno o da eventuali ostacoli. Infatti, la produzione di energia elettrica degli impianti eolici risulta proporzionale al cubo della velocità del vento e piccole differenze nelle caratteristiche anemometriche del sito possono tradursi in notevoli differenze di energia realmente producibile.

Inoltre un generatore richiede una velocità minima del vento (cut-in) di 3-5 m/s ed eroga la potenza di progetto ad una velocità del vento di 12-14 m/s. Ad elevate velocità (20-25 m/s, velocità di cut-off) l'aerogeneratore viene bloccato dal sistema frenante per ragioni di sicurezza.



**Figura 4.6** schema di funzionamento di un impianto eolico.

## 2.2.classificazione degli impianti

Gli aerogeneratori possono suddividersi in classi di diversa potenza, in relazione ad alcune dimensioni caratteristiche:

- macchine di piccola taglia (1-200 kW) - diametro del rotore: 1-20 m; altezza torre: 10-30 m;
- macchine di media taglia (200-800 kW) - diametro del rotore: 20-50 m; altezza torre: 30-50 m;
- macchine di grande taglia (>1.000 kW) - diametro del rotore: 55-80 m; altezza torre: 60-120 m.

Le macchine eoliche di piccola taglia possono essere utilizzate per produrre elettricità per singole utenze o gruppi di utenze, collegate alla rete elettrica in bassa tensione o anche isolate dalla rete elettrica. Le macchine di media e grande taglia sono utilizzate prevalentemente per realizzare parchi eolici o fattorie del vento, meglio note come wind farm, collegate alla rete di media oppure di alta tensione.

A seconda della posizione dell'asse attorno al quale ruota l'intero meccanismo si distinguono rotori ad asse orizzontale e rotori ad asse verticale.

- Nei sistemi ad asse orizzontale l'asse del rotore è parallelo alla direzione del vento e il rotore ruota in un piano ortogonale alla direzione della massa d'aria. Si possono avere due tipi di turbina in questo tipo di applicazione: ad elica o multipala. Le prime vengono utilizzate per sistemi di grandi dimensioni e garantiscono alte velocità di rotazione, traducendosi così in alti coefficienti di potenza; le seconde hanno maggior impiego per sistemi da pochi kW di potenza ma riescono ad entrare in funzione anche per basse velocità del vento. I sistemi ad asse orizzontale, per garantire un rendimento elevato costante, necessitano di mantenere allineato il più possibile l'asse del rotore con la direzione del vento: questo è garantito da sistemi di regolazione meccanica o aerodinamici che richiedono una progettazione alquanto accurata.
- Nei sistemi ad asse verticale il rotore gira con asse ortogonale alla direzione del vento e le pale si muovono nella stessa direzione. Tali sistemi presentano una ridotta quantità di parti mobili (il che garantisce un'alta resistenza alle raffiche di vento e alle turbolenze) e il notevole vantaggio di non doversi orientare secondo la direzione del vento. Di contro il rendimento è inferiore rispetto ai rotori ad asse orizzontale: per tale motivo l'impiego è stato molto limitato. Solo grazie alle migliorie apportate negli ultimi tempi, che hanno garantito un

funzionamento dei rotori per un numero di ore all'anno maggiore rispetto ai rotori ad asse orizzontale, è stato possibile innalzarne il rendimento.

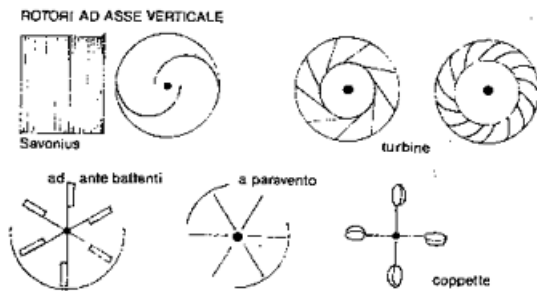


Figura 4.7 rotori ad asse orizzontali.

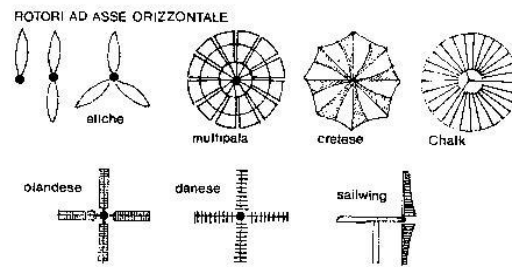


Figura 4.8 rotori ad asse verticale.

La combinazione delle due tecnologie ha permesso lo sviluppo dei rotori ibridi. L'obiettivo principale in questa tipologia è quello di cercare di riunire i vantaggi del rotore ad asse verticale con quello ad asse orizzontale. I rotori ibridi si presentano come sistemi con pale aerodinamiche che si muovono su un asse verticale permettendo di raggiungere elevate velocità di rotazione senza doversi allineare con la direzione del vento.

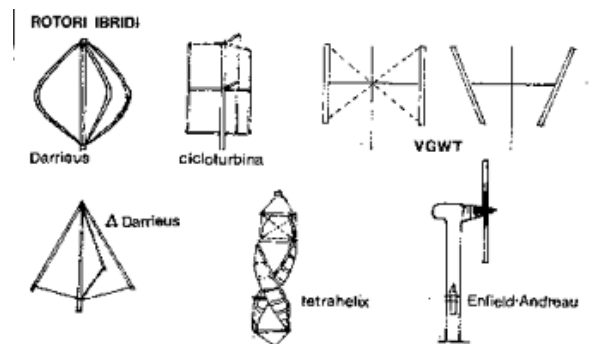


Figura 4.9 rotori ibridi.

Gli aerogeneratori ad oggi più diffusi sono quelli ad asse orizzontale, disponibili a partire da apparecchiature di piccola potenza per applicazioni domestiche di autoproduzione di elettricità, fino ad arrivare ad impianti di grandi dimensioni utilizzabili per realizzare vere e proprie centrali elettriche.

I generatori eolici ad asse verticale, invece, trovano attualmente maggior applicazione per sistemi di piccola taglia, pur essendo giunti anch'essi, grazie agli sviluppi tecnologici, a prestazioni elevate che ne rendono possibile un impiego molto versatile, dall'uso domestico alla produzione centralizzata di grandi quantitativi di energia.

### 2.3. impatto ambientale

I vantaggi di cui beneficia questa tecnologia sono senza dubbio innegabili, e ciò lo testimonia il fatto che ha conosciuto un rapido processo di espansione negli ultimi anni. Dal 2000 al 2011 si è assistito ad un forte sviluppo dei parchi eolici in Italia, intensificatosi in particolar modo negli ultimi anni. Alla fine del 2000 gli impianti installati erano 55 con una potenza pari a 363 MW. Nel 2011 (anno di riferimento dei dati) il parco nazionale è composto da 807 impianti con potenza pari a 6936 MW e la potenza eolica installata rappresenta il 17% di quella relativa all'intero parco impianti rinnovabile (nel 2000 era solo il 2%).

L'energia eolica presenta, oltre ai vantaggi di essere rinnovabile, la possibilità di essere diffusa su tutto il territorio e liberamente disponibile durante l'arco dell'intera giornata, indipendentemente dalle condizioni climatiche: l'energia del vento è infatti disponibile anche di notte, nelle giornate nuvolose e non risente della latitudine, anche se vi sono zone in cui l'azione del vento risulta maggiore. La conversione del vento in elettricità è efficiente (il rendimento teorico è del 59%) e non vengono prodotte emissioni climalteranti.

L'eolico non è comunque privo di emissioni che, se si considera l'intero ciclo di vita, sono rappresentate dalla fase di realizzazione e montaggio dell'impianto, il trasporto e l'attrezzatura dell'area. Per installare un aerogeneratore infatti è necessario fare buche anche molto profonde nel terreno, ed inoltre per trasportare impianti di tali dimensioni è necessario in alcuni casi costruire nuove strade per il passaggio del materiale, deturpando in alcuni casi il paesaggio, dato che le aree in cui vengono collocati sono in genere rurali e prive di strade idonee per il trasporto.

Tali emissioni sono comunque trascurabili rispetto al beneficio che si consegue nella fase di produzione di energia, in cui cioè l'impianto è funzionante, in quanto non è accompagnata da nessuna emissione, e quindi completamente pulita.

Per l'allocazione degli impianti eolici hanno particolare rilevanza le caratteristiche ambientali e territoriali dei vari siti. L'insieme della ventosità, orografia, accessibilità dei siti sono stati infatti variabili discriminanti per l'installazione di un parco eolico.

Gli impianti eolici sono scevri da alcune forme di impatto ambientale tipiche delle centrali termoelettriche convenzionali basate sull'impiego di combustibili fossili, quali la produzione di effluenti gassosi, liquidi e solidi. Ciò nonostante, come già accennato, risultano importanti altre forme di impatto ambientale quali, in particolare:

- l'occupazione del territorio.

Il rapporto tra la potenza installata e la superficie del territorio complessivamente richiesto dagli impianti eolici è dell'ordine di 10 W/mq. Tuttavia la superficie di territorio effettivamente sottratta agli altri usi (pascolo, agricoltura, etc.) è dell'ordine del 2/3% del totale, in relazione alla spaziatura notevole fra le macchine.

- l'impatto visivo.

È essenzialmente un problema di percezione e integrazione complessiva delle turbine eoliche nel paesaggio. Infatti gli aerogeneratori, per la loro altezza, sono visibili in qualunque contesto, anche se in misura più o meno marcata a seconda dell'orografia del territorio. Evidentemente l'impatto visivo aumenta al crescere dell'altezza e del numero di macchine installato. Per ridurre tale problema si possono utilizzare alcune soluzioni di mitigazione, come per esempio la scelta delle torri di traliccio nel caso in cui si voglia ridurre l'impatto visivo a lunga distanza (esse infatti si confondono con lo sfondo a lunghe distanze); oppure di quelle tubolari qualora si voglia ridurre l'impatto a breve distanza. La verniciatura con colori neutri è un'altra soluzione molto adoperata, come anche l'introduzione di elementi di schermatura (filari di alberi ad esempio) in prossimità di strade e paesi.

- le emissioni acustiche.

Generate dalla rotazione delle pale. Il disturbo acustico generato può essere fortemente ridotto in fase di programmazione degli aerogeneratori. Le normative sull'inquinamento acustico prescrivono specifici limiti massimi di esposizione al rumore.

- le emissioni elettromagnetiche.

Riguardano prevalentemente interferenze alle onde radio delle zone appena circostanti al parco eolico.

- le possibili interferenze con flora e fauna.

Le interferenze con la flora sono di solito modeste e legate alla fase di realizzazione dell'impianto. I possibili problemi con la fauna sono legati alla possibilità di urti con volatili con le pale delle turbine.

### 3.impianti geotermoelettrici

#### 3.1.principio e schema di funzionamento

Un impianto geotermoelettrico ha la funzione di trasformare in energia elettrica l'energia termica presente nel fluido geotermico (vapore d'acqua oppure una miscela di acqua e vapore) che si forma grazie al contatto dell'acqua con strati di roccia calda.

I bacini sfruttati per la produzione elettrica sono caratterizzati da temperature superiori ai 150°C e profondità da poche decine a qualche migliaio di metri.

Generalmente un impianto geotermoelettrico è costituito dai seguenti componenti:

- sistema di raccolta, trattamento e convogliamento del fluido geotermico fino all'impianto di produzione dell'energia elettrica (pozzi, sistemi di sicurezza e sforo a bocca pozzo, tubazioni di trasporto, sistemi di separazione acqua-vapore);
- sistema di produzione dell'energia elettrica (condotto di ammissione in turbina, turbina generatore, trasformatore elevatore e connessione alla rete elettrica);
- sistema di trattamento del vapore esausto (condensatore e relativa pompa di estrazione condensato, torre di raffreddamento ad aria, sistema di estrazione dei gas in condensabili);
- sistema di re-iniezione dell'acqua nel bacino geotermoelettrico.

Possono anche essere presenti sistemi di abbattimento di alcuni composti presenti nei gas incondensabili (idrogeno solforato e mercurio), al fine di limitare l'impatto ambientale dell'impianto.

Le emissioni in atmosfera di questi tipi di impianti dipendono dalle caratteristiche del fluido geotermico ma, per unità di energia prodotta, sono comunque decisamente inferiori a quelle derivanti da impianti alimentati con combustione fossile.



Figura 4.10 schema di funzionamento di un impianto geotermoelettrico.

### 3.2.tipologia di impianti

Gli impianti che producono energia elettrica presentano caratteristiche eterogenee tra loro.

Il più semplice e meno costoso è quello che utilizza direttamente il vapore, il quale permette ad una turbina di generare energia meccanica, che viene poi trasformata in elettricità mediante un alternatore. Il vapore a questo punto può essere scaricato nell'atmosfera, oppure recuperato per entrare in un nuovo processo produttivo.

Altra tipologia di impianto è quella che utilizza il vapore secco ad alta temperatura, che viene convogliato verso una turbina di elevate capacità. Infine vi è la situazione in cui, invece che vapore, il pozzo fornisce acqua calda. In questo caso è ancora possibile produrre elettricità se la temperatura dell'acqua è maggiore di 90 °C, anche se il processo richiede impianti più complessi basati su un ciclo combinato, in cui è presente un secondo fluido (fluido di lavoro), che viene portato in ebollizione dall'acqua calda generando nuovamente vapore, utile all'inserimento in turbina per produrre energia elettrica.

L'acqua calda a temperature inferiori a 90°C può essere, invece, impiegata per usi diretti, e cioè per produrre calore. Gli usi diretti sono principalmente il riscaldamento di edifici o piscine, il settore dell'acquacoltura o utilizzi in campo industriale e agricolo.

### 3.3.impatto ambientale

Nonostante la geotermia consenta di ottenere dalle forze naturali grandi quantità di energia rinnovabile e pulita, essa non è esente da critiche, legate essenzialmente all'immissione in atmosfera del vapore dopo l'utilizzo, alle emissioni di CO<sub>2</sub> e all'impatto derivante dall'abbassamento del fondo continentale (detto subsidenza) che tende ad affondare entro la crosta terrestre. Inoltre, l'impiego dei fluidi geotermici comporta anche un certo grado di inquinamento termico e chimico delle acque, aria e suolo, ed infine problematiche legate al rumore ed alle modificazioni del paesaggio.

Una centrale si presenta solitamente come un groviglio di tubature anti-estetiche. Questi limiti si riducono notevolmente ri-iniettando i fluidi nei serbatoi sotterranei da cui provengono. Ciò consente di ridurre, se non addirittura eliminare, gran parte dei problemi descritti, legati all'impiego dei fluidi geotermici.

A dispetto di quanto detto, resta comunque da rilevare l'impatto che può avere nel medio e lungo termine la pratica di ri-iniettare i fluidi sulla permeabilità dei serbatoi e sui possibili rischi legati all'inquinamento di risorse idriche presenti in falde vicine al serbatoio geotermico.



## 4.impianti a energia solare

L'energia solare è una delle principali fonti di energia rinnovabile. Con il termine energia solare si intende la produzione di energia termica ed elettrica ottenuta sfruttando i raggi solari. Il Sole irraggia il nostro pianeta per una potenza di circa 180 mila miliardi di kilowatt. Una parte dei raggi solari viene riflessa dall'atmosfera terrestre verso lo spazio esterno. In qualsiasi momento il Sole irraggia sull'orbita terrestre una energia pari a  $1367 \text{ Watt/m}^2$  ( $1,3 \text{ kW/m}^2$ ). Complessivamente giunge fino alla superficie terrestre circa 1 kilowatt di energia solare per metro quadro. L'energia solare può essere sfruttata utilizzando diverse tecnologie rinnovabili come i pannelli solari. Le principali tecnologie utilizzate per la produzione di energia solare vengono applicate negli impianti termici e fotovoltaici.

### 4.1.impianti termici

Per solare termico si intende la conversione dell'energia solare in energia termica, cioè in calore. Questo processo si realizza attraverso pannelli solari, detti anche collettori solari. I pannelli solari hanno quindi la funzione di trasformare i raggi solari in acqua calda.

Il collettore rappresenta la parte principale dell'impianto, al quale si aggiunge il serbatoio per l'accumulo di acqua calda e un circuito di collegamento di questi due componenti. L'insieme di tutto ciò prende il nome di sistema solare.

Le principali tipologie di collettori solari sono:

- collettori vetrati piani: sono i più utilizzati, caratterizzati da una lastra che assorbe energia solare, attraverso e sopra la quale scorre un fluido che si riscalda;
- collettori sottovuoto: più efficienti, ma più costosi. La loro maggior efficienza è dovuta al fatto che le lamiere assorbenti vengono inserite in tubi di vetro nei quali si crea un vuoto che permette di ridurre le perdite di calore rispetto ai collettori piani;
- collettori scoperti (non vetrati): realizzati con tubi neri di plastica, sicuramente meno efficienti rispetto agli altri in quanto permettono di produrre acqua calda soprattutto nella stagione estiva, risultando però più economici rispetto ai precedenti.

Le applicazioni relative agli impianti solari termici sono soprattutto in ambito civile:

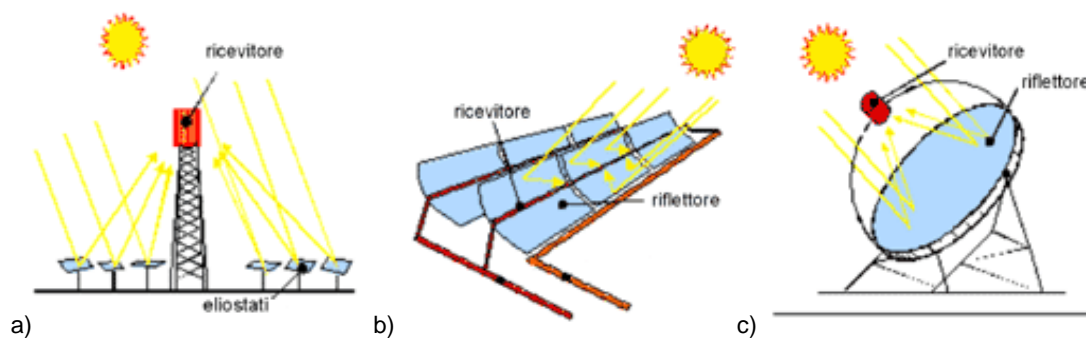
- produzione di acqua calda sanitaria;
- riscaldamento delle piscine;
- riscaldamento degli ambienti.

Si sta diffondendo sempre di più l'impiego dei collettori solari nell'industria, i quali vengono utilizzati spesso nei processi d'essiccazione di prodotti alimentari e per la climatizzazione ambientale.

Gli impianti solari termici fin qui descritti sono detti a bassa temperatura, proprio perché le temperature che riescono a raggiungere sono relativamente basse, cioè inferiori a 100-120°C.

Oltre agli impianti a bassa temperatura vi sono anche quelli a media temperatura, come ad esempio i forni solari, che possono raggiungere temperature comprese tra i 100°C e i 250°C e essere utilizzati nei processi industriali per la produzione di vapore, e quelli ad alta temperatura, detti anche a concentrazione; questi ultimi sono composti da collettori che concentrano i raggi solari verso un ricevitore termico, permettendo di raggiungere temperature superiori ai 250°C, che gli consente di produrre anche energia elettrica. I sistemi solari termici a media e alta temperatura hanno, infatti, come obiettivo principale quello di ottenere energia meccanica da impiegare direttamente o, più spesso, da convertire in energia elettrica.

Le tecnologie ad alta temperatura più utilizzate sono: le torri solari, gli specchi parabolici lineari ed i sistemi a concentratori parabolici indipendenti.



**Figura 4.11** impianti solari a concentrazione: a) sistema a torre con ricevitore centrale, b) concentratori parabolici lineari, c) concentratore parabolico puntale o a disco.

#### 4.2 impianti fotovoltaici

Il solare fotovoltaico permette di convertire l'energia solare direttamente in energia elettrica.

La caratteristica principale di questa tecnologia è rappresentata dal materiale semiconduttore di cui è composto (quasi universalmente il silicio) il quale stimolato dalla radiazione solare produce energia elettrica.

I sistemi fotovoltaici sono classificati in:

- Sistemi isolati (stand-alone);

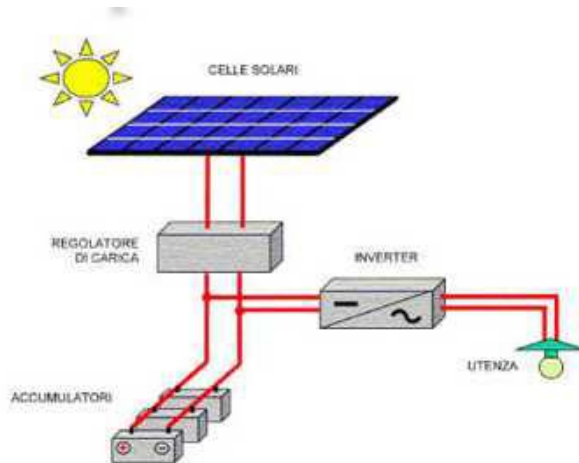


Figura 4.12 sistema isolato.

- Sistemi connessi alla rete (grid-connection);

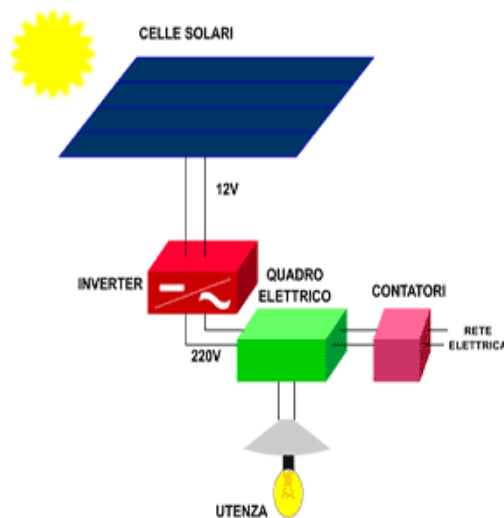


Figura 4.13 sistema connesso alla rete.

Mentre i sistemi grid-connected riversano l'energia prodotta nella rete, quelli stand-alone, non essendo connessi, soddisfano le utenze ubicate in zone poco accessibili o difficilmente collegabili.

Una ulteriore classificazione riguarda invece le tecnologie impiegate, dove le più comuni sono rappresentate da:

- silicio monocristallino: sono realizzate utilizzando un unico grande cristallo, solitamente hanno un rendimento più alto delle altre;
- silicio policristallino: sono realizzate con molteplici cristalli di silicio, il cui rendimento è inferiore rispetto a quelle monocristallino;
- silicio amorfo: strutture non cristalline degli atomi di silicio, il cui rendimento è il più basso, ma hanno la peculiarità di potersi adattare molto facilmente alle architetture degli edifici, ed inoltre hanno costi inferiori rispetto alle precedenti.

Le celle possono avere una composizione diversa in base alle esigenze in termini di efficienza ed al luogo in cui devono essere collocate. Una volta prodotte, vengono assemblate in moduli, che costituiscono l'elemento base di un impianto fotovoltaico. Più moduli insieme formano un pannello solare e così via, fino ad ottenere un campo solare.

#### *4.2.1.vantaggi e problematiche*

È opportuno soffermarsi sui vantaggi che contraddistinguono in modo particolare il fotovoltaico.

I principali vantaggi sono rappresentati dalla modularità, dall'assenza di inquinamento di tipo acustico, termico, né di altro tipo.

L'impatto ambientale è molto basso, non vi sono parti in movimento e soprattutto non si brucia alcun tipo di combustibile nel processo di conversione dell'energia. L'unico impatto ambientale può essere rappresentato dalla necessità di occupare superfici su cui disporre gli impianti fotovoltaici, che comunque va a ridursi nel caso in cui le superficie occupate siano i tetti delle case oppure dei capannoni industriali.

I problemi riguardanti la collocazione sul territorio degli impianti fotovoltaici è di cruciale importanza; ne subisce le dirette conseguenze l'impianto in termini di efficienza e quindi di produzione di energia elettrica.

Oltre ai problemi di collocazione, che solitamente vengono risolti attraverso l'utilizzo di software specifici che permettono di identificare la miglior inclinazione e direzione del pannello fotovoltaico, vi sono anche dei limiti normativi. In Italia molti comuni hanno adottato dei provvedimenti che impediscono la collocazione dei pannelli fotovoltaici sui tetti di edifici nei centri storici, andando a tutelare il patrimonio artistico, al fine di ridurre l'impatto ambientale soprattutto di tipo paesaggistico.

## **5.impianti a biomasse**

La biomassa riunisce una grande quantità di materiali di natura eterogenea. La biomassa è tutto ciò che ha matrice organica, con esclusione delle plastiche e dei materiali fossili. In particolare si intende per biomassa ogni sostanza che deriva direttamente o indirettamente dalla fotosintesi clorofilliana.

Questa sua eterogeneità rende complicato configurare un impianto e descriverne le caratteristiche principali. Si presenta pertanto necessaria una distinzione in base alle possibili applicazioni delle biomasse, così da poter raffigurare astrattamente i principali impianti relativi a questa particolare fonte di energia.

### 5.1 applicazioni

Sono innumerevoli le possibili applicazioni della biomassa come fonte di approvvigionamento energetico, anche se tutte sono contraddistinte dal fatto che

sfruttano l'energia immagazzinata all'interno di legami chimici che compongono la sostanza organica.

Le applicazioni della biomassa si presentano sottoforma di energia termica, elettrica e meccanica, in cui si impiegano combustibili di natura solida, liquida e gassosa. L'energia prodotta sotto forma di calore viene generalmente utilizzata per il riscaldamento di ambienti chiusi, oppure per alimentare tutte quelle attività che richiedono questa forma di energia.

Gli impianti realizzati per la produzione di calore utilizzano combustibili solidi sottoforma di legno e residui della produzione agricola. Il più diffuso è il cippato, il quale proviene dall'industria della trasformazione del legno e dalle attività forestali.

Il calore, in alternativa, può essere convertito in energia elettrica o meccanica. Gli impianti che producono energia elettrica utilizzano combustibili che variano dal cippato di legna ai residui dell'industria agro-alimentare (sanse di olive, vinacce, pastazzo di agrumi, ecc.).

Un'altra tipologia di applicazione riguarda i biocombustibili, assimilabili ai combustibili tradizionali, prodotti da una serie di reazioni chimiche che partono sempre dall'impiego di sostanze organiche, solitamente utilizzati come fonte di riscaldamento di edifici o di propulsione per i veicoli a motore. I più diffusi sono rappresentati da:

- Cippato: che, come abbiamo detto, deriva da residui delle potature boschive, agricole o urbane, le ramagli e i cimili;
- Pellets: deriva da scarti dell'industria del legno, quali segatura, polveri, ecc.;
- Biodiesel: ottenuto dalla fermentazione dei residui di colture energetiche dedicate come il mais, la colza, il girasole, la soia, ecc.;
- Bioetanolo: ricavato da barbabietola, canna da zucchero, cereali, ecc.;
- Biogas: ottenuto in particolare da colture energetiche, scarti dell'agro-industria, deiezioni animali e dalla decomposizione dei rifiuti solidi urbani.

## 5.2. produzione di energia

I combustibili da biomasse vengono utilizzati in tre campi di applicazione:

- produzione di energia termica;
- produzione di energia elettrica;
- combustibili per i veicoli.

Le biomasse possono, quindi, sostituire integralmente i combustibili fossili in quanto riescono a riprodurre integralmente ciascuna tipologia di applicazione di dette fonti inquinanti.

Si analizzano gli impianti che possono essere realizzati per produrre energia da biomasse, distinguendoli in base alla tipologia di combustibile preso in esame.

Relativamente ai combustibili solidi, possono essere impiegati per produrre calore in caldaie di piccola potenza (3kW), media potenza (100 kW) e grande potenza (10 MW). Queste ultime sono solitamente grandi centrali termoelettriche che producono energia termica ed elettrica.

I combustibili liquidi e gassosi, invece, raramente vengono impiegati per produrre calore, mentre molto spesso il loro utilizzo è finalizzato alla produzione di energia elettrica o come combustibili per i veicoli.

Riguardo alla produzione di energia elettrica si ricorre spesso a piccole centrali elettriche che utilizzano motori a combustione interna, fino ad arrivare a grosse centrali con turbine a vapore.

Gli impianti che producono energia elettrica hanno un'efficienza di circa il 35%, mentre il rimanente 65% viene disperso sotto forma di calore.

Attraverso la cogenerazione, invece, il calore prodotto non viene disperso, ma recuperato per altri usi. Può essere riutilizzato per la produzione di acqua calda, vapore (teleriscaldamento, utilizzi in processi industriali, ecc.), per via diretta (fumi utilizzati per l'essiccamento), oppure per produrre un'ulteriore quota di energia elettrica (ciclo combinato).

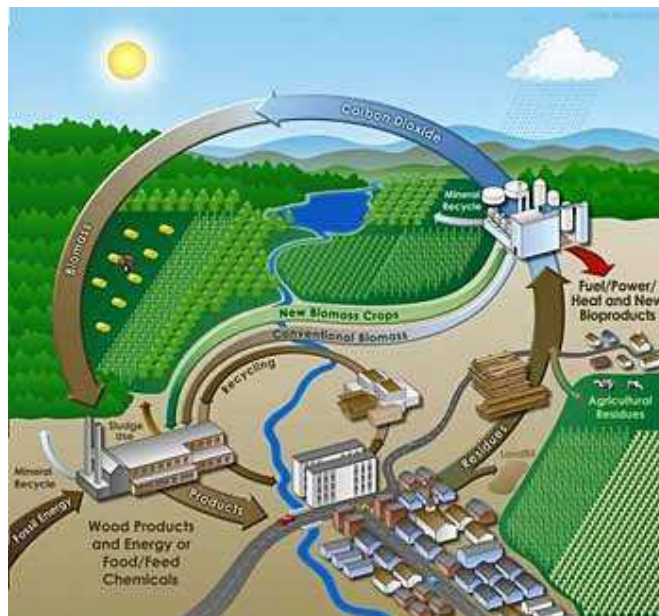


Figura 4.14 chiusura del ciclo produttivo industriale.

### 5.3 vantaggi

Le biomasse rappresentano una delle principali fonti di energia rinnovabile per ridurre l'inquinamento ambientale e contrastare l'egemonia delle fonti tradizionali. La loro universalità di impiego non è però il solo pregio che le contraddistingue; esse, infatti, sono molto diffuse sul territorio ed inoltre non presentano l'inconveniente tipico delle

FER: l'intermittenza. Le biomasse possono rappresentare dunque una valida soluzione alle cadenze periodiche e stagionali della radiazione solare.

Altra differenza interessante rispetto alle altre FER è data dalla possibilità di stoccaggio, che permette il loro consumo nel momento in cui è richiesta.

Il suo utilizzo è molto interessante perché attualmente è l'unica fonte in grado di sostituire i combustibili fossili nel settore dei trasporti, il quale incide significativamente sull'inquinamento atmosferico, e molto probabilmente inciderà sempre più nel prossimo futuro.

Le biomasse vegetali consentono di ridurre fortemente le emissioni di gas serra, in quanto l'anidride carbonica emessa durante la produzione di energia è pari a quella assorbita durante la crescita delle piante, a differenza dei combustibili fossili che emettono CO<sub>2</sub>, la quale si accumula nell'ambiente; per cui l'uso della biomassa non apporta alcun contributo alle emissioni (tranne le emissioni marginali legate al taglio, alla raccolta, alla movimentazione e al trasporto).

La possibilità di impiegare materiali di scarto, residui e spesso anche rifiuti nei processi di trasformazione e produzione come materia prima per la produzione di combustibili, rende questa fonte particolarmente conveniente e permette di chiudere il ciclo produttivo industriale, risparmiando notevolmente sugli sprechi e sui rifiuti, che generano molti disagi legati allo stoccaggio ed allo smaltimento.

## **6.impianti di conversione dell'energia del moto ondoso e delle maree**

L'energia del mare costituisce una fonte relativamente nuova nel panorama delle energie rinnovabili.

Le tecnologie per ricavare energia dal mare sono attualmente in pieno sviluppo. Essa può essere estratta attraverso tecnologie che utilizzano l'acqua di mare come forza motrice o attraverso tecnologie che sfruttano il suo potenziale chimico o termico. Nel dettaglio l'energia del mare può essere suddivisa in sei fonti distinte: le onde, le maree, le correnti di maree, i gradienti di temperatura e la salinità. Ognuna di queste fonti richiede una particolare tecnologia per la conversione in energia elettrica.

Sebbene la valutazione dettagliata della risorsa energetica marina sia ancora in fase preliminare, le prime stime a livello globale indicano che il potenziale energetico teorico del mare, nelle sue diverse forme, supera di gran lunga il presente fabbisogno energetico dell'intera popolazione mondiale.

### 6.1.convertitori di energia del moto ondoso

I convertitori di energia dal moto ondoso sono abitualmente classificati in relazione al loro posizionamento rispetto alla costa, in base al principio di conversione dell'energia adottato o in relazione al tipo di sistema di conversione finale dell'energia.

I principali dispositivi utilizzati sono:

- impianti sulla costa "Shoreline devices".  
Sono quei dispositivi che vengono posti sul fondale di mari poco profondi o fissati sulla costa o integrati nelle barriere frangiflutti. I principali vantaggi di questi sistemi sono la facilità di installazione e i costi ridotti di manutenzione e di trasporto dell'energia. Lo sviluppo di questo tipo di installazione può essere limitato dalla scarsa disponibilità di siti sulla costa aventi adeguate caratteristiche e dagli effetti di impatto visivo e ambientale che essi possono causare nelle zone costiere.
- impianti in prossimità della costa "Near to Shore devices".  
Queste installazioni sono situate in mari poco profondi (10-20 m) e localizzati a breve distanza dalla costa (100-1000 m). Le ridotte profondità del mare favoriscono l'installazione di imponenti dispositivi da adagiare sul fondale.
- impianti lontano dalla costa "Off-shore devices".  
Sono la tipologia di convertitori (sia nella configurazione galleggiante sia in quella semisommersa con ancoraggio sul fondo del mare) che risulta la più promettente in quanto può sfruttare la più elevata densità di energia del moto ondoso nelle zone di mare aperto.
- sistemi OWC "Oscillating Water Column".  
I dispositivi a colonna d'acqua oscillante sono strutture semisommerse costituiti da una camera all'interno della quale il livello dell'acqua si innalza e si abbassa in funzione dell'onda incidente. L'aria presente all'interno della camera viene alternativamente pressurizzata e depressurizzata realizzando un flusso alterno attraverso una turbina ad aria posizionata alla sommità della camera.  
L'onda incidente agisce sulla colonna d'acqua contenuta nella camera di captazione per mezzo dell'apertura inferiore sommersa e posta sulla parte frontale del dispositivo, mentre la parte superiore della camera è interamente occupata dall'aria esterna. Il moto oscillatorio dell'acqua presente all'interno della camera, indotto dal moto ondoso, determina una differenza di pressione fra la parte superiore della camera e l'esterno. Un condotto collega la camera con una turbina ad aria posta superiormente al dispositivo di captazione. Pertanto il movimento della colonna d'acqua oscillante realizza il flusso alterno



dell'aria sovrastante che aziona una turbina unidirezionale, collegata a sua volta ad un generatore elettrico.

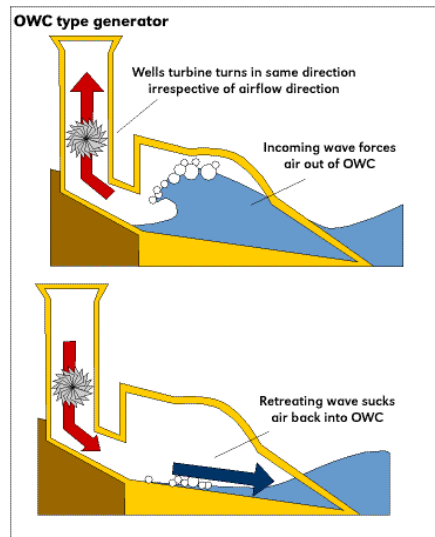


Figura 4.15 sistema OWC.

- sistemi a galleggianti articolati “Hinged contour devices”.  
Questi dispositivi sono costituiti da una serie di galleggianti collegati fra loro con dei giunti articolati che permettono il movimento relativo fra le differenti parti al passaggio dell'onda. Il più famoso dei sistemi a galleggianti articolati è certamente il Pelamis.
- overtopping devices.  
Sono dispositivi galleggianti o fissi alla costa che raccolgono l'acqua trasportata dall'onda incidente in serbatoi d'acqua sopraelevati rispetto al pelo libero del mare, utilizzando sistemi di concentrazione delle onde. L'acqua accumulata nel serbatoio viene rilasciata attraverso una turbina idraulica che aziona un generatore. Il Wave Dragon, ad esempio, è un dispositivo che si basa proprio su questo principio di funzionamento.



Figura 4.16 Wave Dragon.

- sistemi a galleggiante ancorati sul fondale “Bouyant moored devices”.  
Questi dispositivi presentano un galleggiante che quando viene movimentato dal passaggio dell'onda effettua l'estrazione dell'energia. Uno dei più noti

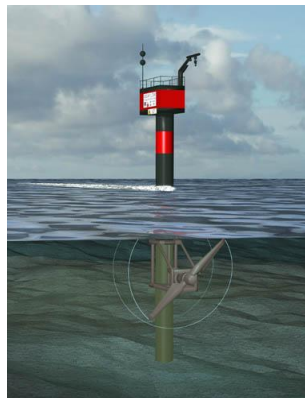
dispositivi a galleggiante è il sistema AWS che basa il suo funzionamento sul principio di Archimede.

### 6.2.convertitori di energia dalle correnti di marea

È noto che la luna esercita una forte forza d'attrazione sull'acqua della Terra. Dall'innalzamento e dall'abbassamento regolare delle masse d'acqua si ricava energia. Per costruire un convertitore di energia da marea l'estuario è sbarrato in direzione del mare con una diga artificiale. La tecnica energetica sfrutta il dislivello tra l'alta marea e la bassa marea: la cosiddetta ampiezza di marea.

Per quanto concerne i dispositivi che intendono sfruttare tale tecnica si è ancora in fase infantile, il che richiederà nel futuro uno sviluppo importante per arrivare alla fase commerciale. Attualmente sono allo studio in Europa l'installazione di alcuni impianti pilota che impiegano il concetto delle giranti ad esse orizzontale o verticale: l'impianto Kobold, il SeaFlow e il Torcado.

- Kobold: utilizza una turbina ad esse verticale per lo sfruttamento delle correnti marine. Un'importante aspetto di questa turbina è che il suo senso di rotazione risulta indipendente dalla direzione delle correnti. Nel 2002 il dispositivo è stato installato nello stretto di Messina a una distanza di 150-200 metri dalla costa e ad una profondità di 15-35 metri dove si registrano velocità massime di 2 m/s.
- Seaflow: utilizza una turbina ad asse orizzontale montata su un pilone di acciaio piantato sul fondo marino. Nel 2003 il primo prototipo è stato installato a 1 km di distanza dalle coste di Foreland Point vicino Devon ad una profondità di 30 metri. la caratteristica originale del dispositivo è che la turbina e il sistema di generazioni possono essere completamente sollevati sopra il pelo libero per le operazioni di manutenzione.



**Figura 4.17** sistema Seaflow.

- Torcado: installato nei Paesi Bassi, prevede una turbina ad asse orizzontale da utilizzare alle foci dei fiumi in corrispondenza di numerosi sbarramenti presenti in Olanda.

### 6.3. impatto ambientale

I sistemi di conversione dell'energia del moto ondoso durante il loro funzionamento non producono sostanze inquinanti di nessun tipo e per questo sono definiti sistemi ad emissioni nulle. Tuttavia la loro realizzazione comporta un certo impatto sull'ambiente, con aspetti talvolta problematici.

Gli impatti in genere sono maggiori per gli impianti in prossimità o sulla costa e si riducono notevolmente per i sistemi galleggianti. La limitata esperienza conseguita con gli impianti convertitori del moto ondoso non può che fornire solo un quadro indicativo dei possibili effetti ambientali che possono causare tali dispositivi.

I sistemi di conversione del moto ondoso hanno un certo effetto sul clima marino determinando certamente modificazioni sul moto ondoso e sulla propagazione delle maree e delle correnti marine. Una riduzione dell'energia delle onde potrebbe modificare la natura delle coste e dei bassi fondali oltre alla flora e la fauna presente nell'habitat marino.

Le installazioni di captazione del moto ondoso interagiscono con l'ambiente marino e tendono a formare nel tempo un nuovo habitat. In tal modo anche gli impianti convertitori del moto ondoso possono rappresentare una nuova base per la formazione di nuove colonie di organismi. Questo fenomeno deve essere adeguatamente contrastato quando la presenza di questi organismi determina ed accentua il fenomeno della corrosione e della fatica della struttura, che ne compromette la resistenza e la sicurezza ed ostacola o rende difficili gli interventi di manutenzione ed ispezione.

Per quanto concerne le emissioni acustiche prodotte dai dispositivi di captazione del moto ondoso, queste si possono trasmettere per lunghe distanze nell'acqua generando dei disturbi alla navigazione e ai sistemi di comunicazione delle foche e dei cetacei. Inoltre i dispositivi o le batterie di dispositivi non devono creare alcun ostacolo o interferire con le rotte migratorie dei pesci.

Il rumore prodotto dai dispositivi in prossimità o sulla cresta possono rappresentare un problema per la vita costiera. Tuttavia quando il sistema è operativo il rumore prodotto viene totalmente mascherato da quello generato dal vento e dalle onde.

Un altro aspetto che si deve considerare quando si installano tali dispositivi è costituito dai potenziali pericoli che si possono creare per la navigazione.

Anche l'impatto visivo risulta particolarmente sentito soprattutto per le strutture che sorgono in prossimità della costa o in posizioni particolarmente frequentate dalle popolazioni per le attività ricreative e sportive, o nelle zone panoramiche a forte attrazione turistica.



## CONCLUSIONI

L'analisi delle principali fonti di energia ha permesso di delineare un quadro ben preciso delle svariate tecnologie adottate per la produzione delle stesse: da quelle maggiormente utilizzate, come le centrali a petrolio e a carbone, a quelle ancora in fase di sviluppo, come i convertitori del moto ondoso. Allo stesso tempo è stato possibile riscontrare come gran parte di queste tecnologie possano interferire in maniera più o meno marcata sull'ecosistema globale, risultando determinanti sui cicli naturali della vita e dell'atmosfera con modifiche non solo a livello locale ma anche globale, specie in questi ultimi anni in cui l'attività dell'uomo si è sempre più diffusa e intensificata.

Le fonti non rinnovabili, come il petrolio ad esempio, sebbene rientrino ancora ai primi posti per la produzione di energia, oltre ad essere delle fonti esauribili, provocano nell'ambiente emissioni più o meno gravi per il pianeta e a lungo andare potrebbero portare a situazioni drastiche.

Ecco che la sfida per il futuro è quella di poter garantire la disponibilità di fonti di energia economica compatibilmente con la "risorsa ambiente". È necessario dunque fare delle scelte che portino verso un modello di sviluppo compatibile con le risorse del pianeta.

Le fonti energetiche rinnovabili analizzate possono essere un valida soluzione per la creazione di un sistema energetico sostenibile, non solo dal punto di vista ambientale, ma pure economico. Le fonti rinnovabili permettono, infatti, un valido apporto di energia garantendo un minore impatto ambientale in relazione alle risorse non rinnovabili e contribuendo alla tutela del territorio e dell'ambiente.

La sfida della società moderna sarà riuscire a sfruttare appieno il vento, il sole, l'acqua, i rifiuti, l'idrogeno: tutte energie inesauribili, che producono inquinamento quasi nullo e che presentano livelli di impatto ambientale molto bassi.

Ad oggi la quota di utilizzo delle rinnovabili rispetto al totale dell'energia consumata nel mondo è ancora poco significativa, ma tutte stanno conoscendo grandi sviluppi tecnologici e un grande interesse che ne promuoverà l'utilizzo, anche grazie a interventi politici che ne stanno incentivando l'installazione. Lo stesso protocollo di Kyoto, il più importante a livello internazionale in tema di energie rinnovabili, prevedeva l'obbligo in capo ai paesi industrializzati di operare una riduzione in una misura non inferiore al 5% rispetto alle emissioni registrate nel 1990 (considerato come anno base) nel periodo 2008-2012.

L'inquinamento atmosferico nelle nostre città, inoltre, ha raggiunto livelli allarmanti e le elevate emissioni hanno imposto l'adozione di provvedimenti cautelativi limitativi delle

mobilità e del vivere urbano, che sebbene d'aiuto alla causa, non possono però ritenersi risolutivi, perché poco incisivi sulle cause strutturali del fenomeno.

Ecco che allora le nuove forme di energia rinnovabile, rappresentando un'alternativa sempre più concreta alle fonti tradizionali, risultano essere ancora più indispensabili per risolvere il problema dell'inquinamento. Esse potranno fornire una buona percentuale dell'enorme quantità di energia necessaria ad una popolazione di miliardi di esseri umani anche attraverso un nuovo modello energetico basato su un decentramento del sistema di generazione, in cui la produzione ed il consumo saranno vicini l'una all'altro e affidati alla gestione dello stesso utente.

La ricerca, lo sviluppo e l'utilizzo di nuove tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabile rappresentano oggi, quindi, un forte e significativo punto di partenza per garantire la salvaguardia del nostro pianeta e dovranno essere, nel futuro immediato, le radici su cui si baserà il sistema elettrico mondiale per produzione di un'energia sempre più ecosostenibile.

## BIBLIOGRAFIA

- “Tecnologie delle energie rinnovabili”, D.Cocco, C.Palomba , P.Puddu, SGEEditoriali 2010
- “Rapporto statistico 2011 Impianti a fonti rinnovabili”, GSE.
- “Descrizione e schemi degli impianti da fonte rinnovabile”, GSE.
- “Statistiche energetiche”, IEA.
- “Renewable Energy”, B.Sorensen, Elsevier Science, Third, 2004.
- “La sfida del Secolo”, P.Angela e L.Pinna, Mondadori, 2006.
- “Le fonti rinnovabili 2010”, ENEA, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l’energia e lo sviluppo economico sostenibile.
- “L’energia e la sua distribuzione, petrolio, gas naturale, elettricità”, A.Keramane, Jaca Book, 1996.
- “Biomasse per l’energia - Guida per progettisti, impiantisti e utilizzatori”. ISES Italia, 2004.
- “Storia della Tecnologia”, Bollati Boringhieri, C. Singer, E. J. Holmyard, A. R. Hall, T. I. Williams Torino, 1994.
- “Elementi di acustica tecnica” – R.Lazzarin, M.Strada, Cleup, 2007.
- “Renewable Energy source of fuels and electricity”, T.B. Jahanssons, H.Kelly, A.K.N. Reddy and R.H. Williams, Island Press 1993.

## SITOGRAFIA

- GSE S.p.a., <http://www.gse.it/>.
- TERNA S.p.a., <http://www.terna.it/>.
- GME S.p.a., <http://www.mercatoelettrico.org/>.
- Energoclub, <http://www.energoclub.it/>.
- ENI S.p.a., <http://www.eni.com/>.
- ENEA, <http://www.enea.it/>.
- AEEG, Autorità per l’Energia Elettrica e il Gas, <http://www.autorita.energia.it/>.
- Ministero dello sviluppo economico, Bilancio energetico Nazionale, <http://www.sviluppoeconomico.gov.it/>.
- Assocarboni, <http://www.assocarboni.it/>.
- <http://www.ecoage.it/>.
- <http://ebook.scuola.zanichelli.it/>.
- <http://www.gasnaturalitalia.com/>.

- <http://www.sciencegate.it/>.
- <http://www.italicid.org/>.
- <http://www.assolterm.it/>.
- <http://www.museoenergia.it/>.
- <http://www.iaea.org/>.
- <http://www.itabia.it/>.