

INDICE

1. ENERGIA

- 1.1 Concetti di base
 - 1.1.1 Dinamica: lavoro, potenza, energia cinetica, potenziale; unità di misura
 - 1.1.2 Termodinamica: temperatura, calore, lavoro, conservazione dell'energia, secondo principio della termodinamica, ciclo di Carnot, efficienza e rendimento energetico
 - 1.1.3 Elementi di trasmissione del calore
- 1.2 Suddivisione delle fonti di energia e delle forme di energia
 - 1.2.1 Definizioni fondamentali
 - 1.2.2 Fonti di energia: energie non rinnovabili e energie rinnovabili
 - 1.2.3 Consumo e impatto ambientale

2. FONTI DI ENERGIA RINNOVABILI

- 2.1 Energia solare
 - Concetti di base
 - Fotovoltaico
 - Solare per la produzione di calore: collettori solari
- 2.2 Energia idrica
 - Concetti di base
 - Descrizione delle turbine idroelettriche e scelta
- 2.3 Energia eolica
 - Concetti di base
 - Aerogeneratori
- 2.4 Energia dalle biomasse
 - Concetti di base
 - Biogas
- 2.5 Energia geotermica

3. TECNICHE DI RISPARMIO ENERGETICO

- 3.1 Accumulo di energia: Batterie, idrogeno, in rete
- 3.2 Risparmio dell'energia elettrica
- 3.3 Risparmio dell'energia termica
 - Risparmio energetico negli edifici: isolamento e solare passivo
- 3.4 Cogenerazione
- 3.5 Integrazione di fonti energetiche diverse
- 3.6 I rifiuti come fonte di energia

ENERGIA

1.1 Concetti di base

Per poter dare una definizione esauriente di energia e, in seguito, di energia rinnovabile ed energetica, occorre chiarire dei concetti di base, sia in modo concettuale che in modo propriamente fisico e matematico; la forza, il lavoro, il calore e la potenza sono le grandezze che c'interessano in questa breve introduzione di fisica. Per parlare di queste grandezze dobbiamo fare una distinzione riguardo al sistema in studio. Prima studieremo la dinamica di una particella (o di un corpo) e di un sistema di poche particelle. Successivamente vedremo la termodinamica, o meccanica statistica, che studia i sistemi con un elevato numero di particelle.

1.1.1 Dinamica

FORZA

La Forza è una grandezza vettoriale (F ha un modulo, una direzione e un verso) e concettualmente è la causa che fa sì che in corpo riesca a variare la sua condizione, sia di movimento (si può mettere in movimento una palla oppure fermarla applicando ad essa una forza) che di stato fisico (è possibile applicando una determinata forza anche deformare la palla)

Lo strumento di misurazione delle forze è il Dinamometro



Dinamometro da laboratorio

il dinamometro è lo strumento di misura delle forze. La parte che si allunga grazie ad una molla è tarata in dine o newton secondo l'unità di misura utilizzata



VETTORI

Regola del parallelogramma: per calcolare la risultante di più forze applicate in uno stesso punto si usa la regola del Parallelogramma

Per esempio la risultante delle due forze 1 e 2 agenti sul punto A è la forza risultante con la costruzione di un parallelogrammo. La linea risultante, perciò, ipotetico oggetto sottoposto a due forze di questo tipo, si muoverà nella direzione della risultante.

PRIMO PRINCIPIO DELLA DINAMICA: Principio d'inerzia

Ogni corpo non soggetto a forze (oppure soggetto a forze che si equilibrano, la cui risultante è nulla) mantiene la sua condizione di quiete oppure di moto rettilineo uniforme.

Nel caso di una particella: una particella libera (non soggetta ad alcuna interazione) si muove sempre con velocità costante, cioè senza accelerazione.

SECONDO PRINCIPIO DELLA DINAMICA: Legge del moto

Ogni forza misurata staticamente produce sul corpo su cui è effettuata una accelerazione, cioè una variazione di velocità, che ha la stessa direzione e lo stesso verso della forza stessa, e inoltre è direttamente proporzionale alla forza stessa.

In formula:

$$F=ma$$

TERZO PRINCIPIO DELLA DINAMICA: Principio di azione e reazione

Ad ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria. Chiamando azione la forza agente su un corpo e reazione la forza agente sull'altro.

Nel caso di un sistema isolato di particelle questi principi derivano dal principio di conservazione della quantità di moto. La quantità di moto (p) di una particella è una grandezza vettoriale definita come la massa per la velocità della particella:

$$p=mv$$

Il principio di conservazione della quantità di moto per un sistema isolato di particelle afferma che la quantità di moto totale (somma delle quantità di moto delle particelle) è costante.

$$P= p_1+p_2+p_3+\dots=\text{cost}$$

Per cui considerando una particella $p=\text{cost}$ (principio d'inerzia), e nel caso di interazione tra due particelle:

$$F = dp_1/dt = dp_2/dt = mdv/dt = ma \quad (\text{II principio})$$

$$F_1 = -F_2 \quad (\text{III principio})$$

in parole quando due particelle interagiscono la forza agente su una particella è uguale e opposta alla forza agente sull'altra.

MASSA

Dai principi della dinamica deriva il concetto di massa inerziale, che è la costante di proporzionalità tra la forza agente e l'accelerazione del corpo ($m=F/a$). E' una misura della resistenza che un corpo presenta ad assumere una accelerazione sotto l'azione di una forza. La massa inerziale è identica alla massa gravitazionale (peso) dato che la gravità è una forza che imprime al corpo libero un'accelerazione costante pari a g . L'unità di misura della massa è il Kg massa (S.I.) e la massa nel S.I. è una grandezza fondamentale (cioè non ricavata).

L'unità di misura delle forze è il Newton (N), o il dine, o il chilogrammo - peso.

1N= forza capace di imprimere a un corpo di 1 Kg accelerazione di 1 m/s^2 . (= 10⁵ dine)

Tipi di forza

La Forza gravitazionale è la forza che dà la forma all'universo e si manifesta come interazione tra due masse.

Legge di gravitazione universale: due particelle di massa m_1 e m_2 di dimensioni trascurabili rispetto alla loro reciproca distanza (r) si attraggono con una forza agente lungo la congiungente d'intensità proporzionale al prodotto tra le due masse e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza.

$$F=G (m_1 \times m_2) / r^2$$

G: costante universale di gravitazione = 6,67 10⁻¹¹ Nm²/Kg²

da questa formula si ricava accelerazione di gravità g alla superficie terrestre g (9,8 m/s^2)

La Forza elettromagnetica ha come sorgente la carica elettrica ed è responsabile della forma degli atomi.

Legge di Coulomb: due sferette piccole rispetto alla loro reciproca distanza (r) si attraggono (si respingono se di segno uguale) con una forza agente, lungo la congiungente d'intensità proporzionale al prodotto tra le due cariche e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza.

$$F=K (q_1 \times q_2) / r^2$$

K : costante = $9 \cdot 10^{-9} \text{ Nm}^2/\text{c}^2$

Le Forze nucleari responsabili della stabilità del nucleo e del decadimento radioattivo, si dividono in: forza nucleare forte e forza nucleare debole. La forza nucleare forte agisce con ordini di grandezza molto maggiori di tutte le altre forze, ed è quella che tiene unito il nucleo degli atomi.

La Forza di coesione molecolare interagisce con la forza elettromagnetica nella dinamica tra molecole.

La Forza elastica ha come sorgente la struttura interna di un corpo. Entro i limiti di elasticità (oltre ai quali si producono deformazioni anelastiche) la forza elastica è direttamente proporzionale alla deformazione subita (X) dal corpo e di verso contrario.

$$F=-k X$$

Le Forze di attrito sono connesse alla struttura della materia e producono una resistenza al moto di un corpo rispetto ad un altro. Si dividono in attrito radente e volvente (contatto solido-solido) e attrito viscoso (contatto solido-fluido).

La forza di attrito radente riguarda un corpo che striscia su un altro: è indipendente dall'area di superficie di contatto ed è direttamente proporzionale al peso del corpo (P):

$$F_a=kr P$$

kr : coefficiente di attrito è diverso se il corpo è già in movimento (kr dinamico) o è fermo (kr statico). Ovviamente è maggiore il coefficiente di attrito statico.

la forza di attrito volvente riguarda un corpo che rotola: è minore dell'attrito radente ed è proporzionale al peso e inversamente proporzionale al raggio:

$$F_a=k_v P/r$$

L'attrito viscoso è più complesso perché diventa fondamentale l'attrito interno del fluido.

$F = \eta \frac{dv}{dx}$ η = coefficiente di viscosità del fluido k = lunghezza caratteristica della forma geometrica

LAVORO

Si definisce fisicamente il lavoro di una forza il prodotto dell'intensità della forza per il modulo dello spostamento del corpo su cui viene applicata la forza nella direzione della forza:

$$L = F \cdot s$$

L'unità di misura del lavoro è il Joule (N x m) nel S.I. ed è il lavoro compiuto da una forza costante di 1 N quando il punto di applicazione della forza subisce uno spostamento di 1 metro nella sua stessa direzione. Se si considera il chilogrammpeso, l'unità di misura è il chilogrammetro (kgm).

Il lavoro può essere motore o resistente, a seconda che la forza favorisca (oppure ostacoli) lo spostamento. Con i vettori la definizione diventa ancora più semplice $L = F \cdot S$ prodotto scalare della forza per lo spostamento.

POTENZA

La potenza è un'altra grandezza in cui si considera il lavoro (più spesso di una macchina) durante un particolare lasso di tempo. Definiamo la potenza media

$$P_m = (L / t)$$

L'unità di misura della potenza è il Watt (J/s) nel S.I. Spesso, per comodità, il lavoro è misurato in KWh (kilowattora), cioè il lavoro prodotto in 1 ora nel caso che la potenza sia di 1 KW; quindi $1 \text{ KWh} = 103 \text{ W} \cdot 360 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

ENERGIA

Si dice che un corpo possiede energia quando è in grado di compere un lavoro.

La misura dell'energia è proprio questo lavoro perciò la sua unità è il Joule.

Cominciamo con considerare l'energia meccanica che si suddivide in

ENERGIA CINETICA & ENERGIA POTENZIALE

ENERGIA CINETICA

Consideriamo un corpo in movimento che viene fermato. Il lavoro che il corpo compie su questo oggetto frenante è l'energia cinetica.

Matematicamente:

$$E_c = (mv^2)$$

Un lavoro su un corpo implica sempre una variazione di energia cinetica, che sarà positiva o negativa a seconda che il lavoro sia motore o resistente.

Per cui $L = E_a - E_b$ è il lavoro da un corpo che si muove da un punto A ad un punto B ed è uguale alla variazione di energia cinetica del corpo.

Come vedremo nei sistemi di particelle (termodinamica) l'energia termica altro non è che l'energia cinetica delle particelle.

ENERGIA POTENZIALE

Definiamo energia potenziale gravitazionale di un corpo ad altezza "h" (il lavoro compiuto dalla forza peso), quando il corpo si porta a terra.

$$U = F h = mgh \quad (\text{si assume energia potenziale } 0 \text{ a terra})$$

Questo lavoro è sempre uguale indipendentemente dal cammino che il corpo compie.

$$L = U_a - U_b = mgh_a - mgh_b$$

(U è la funzione dell'energia potenziale)

Il lavoro L è uguale alla differenza di energia potenziale del corpo nel punto A e nel punto B.

Anche per il lavoro di forze elastiche si può definire un'energia potenziale elastica

$$U = - \frac{1}{2} k X^2$$

(X: allungamento della molla; si assume energia potenziale nulla con la molla a riposo)

$$L = U_a - U_b = - \frac{1}{2} k X_a^2 + \frac{1}{2} k X_b^2$$

Quelle forze che agiscono su un corpo che si sposta da un'altezza A ad un'altezza B, il cui lavoro non dipende mai dal tragitto, sono dette forze conservative.; per cui sia la forza gravitazionale che quella elastica (così come quella elettromagnetica) sono forze conservative.

Le forze non conservative vengono dette invece dissipative, perché come vedremo disperdono energia: la forza d'attrito non è conservativa perché se la traiettoria è una linea chiusa il lavoro sarà sempre negativo perché sempre opposto al moto.

Nel caso di forze solo conservative l'energia totale di un corpo si conserva, cioè la somma di energia cinetica e potenziale rimane costante. Esempio per un corpo in caduta libera:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + mgh = \text{cost}$$

In presenza di forze dissipative non si conserva l'energia meccanica (cinetica+potenziale) poiché bisogna prendere in considerazione anche l'energia termica prodotta dall'attrito, per cui è necessario introdurre i principi della termodinamica.

Il principio di conservazione di un sistema di particelle le cui forze interne siano conservative può essere espresso analogamente:

$$U = E_{\text{cin}} + E_{\text{pot}} \quad D\delta U = \text{West}$$

la variazione di energia propria di un sistema di particelle uguaglia il lavoro compiuto dalle forze esterne sul sistema. Quindi se il sistema è isolato l'energia propria è costante.

Come ultimo esempio di conservazione dell'energia meccanica prendiamo in considerazione un fluido ideale (non comprimibile, come l'acqua, a densità ρ) e privo di attriti interni in moto stazionario, lungo un condotto. Oltre all'energia cinetica e potenziale del fluido, bisogna considerare anche il lavoro dovuto alle forze di pressione (p) del fluido $L = p_1 D\delta V - p_2 D\delta V$.

$$L_{\text{pot}} + L_{\text{press}} = D\delta e_{\text{cin}} \\ D\delta mg(h_1 - h_2) + p_1 D\delta m / \rho - p_2 D\delta m / \rho = \frac{1}{2} D\delta m v_2^2 - \frac{1}{2} D\delta m v_1^2 \\ p + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{cost} \quad (\text{legge di Bernoulli})$$

nel caso non ci siano salti nel condotto $p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{cost}$ che mette in relazione la pressione in un punto del fluido con la velocità (o portata).

1.1.2 Termodinamica

Nei sistemi con elevato numero di particelle il modello della meccanica non è pratico né sufficiente. Per trattare questi sistemi (come un gas) nel suo complesso ci si riferisce alla meccanica statistica, che studia i fenomeni dal punto di vista generale e statistico.

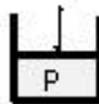
Si definisce la Temperatura di un sistema come grandezza correlata all'energia cinetica delle sue molecole. Preso il gas come un sistema di particelle modello, si dice perfetto quando le forze tra le molecole sono trascurabili (molto vicino è l'idrogeno; temperature elevate e basse densità avvicinano il gas al modello di gas perfetto).

Per il gas perfetto vale la formula di Boyle $PV=kNT$ che mette in relazione la pressione (P), il volume (V), la temperatura (T) per mezzo di costanti (N e il numero di molecole).

Secondo il modello molecolare del gas perfetto si riesce a stabilire la corrispondenza tra energia cinetica e temperatura.

Si dice che il moto molecolare interno di un sistema di particelle è disordinato perché le molecole si muovono in direzioni differenti, mentre il moto esterno è chiamato ordinato.

Considerando sempre un sistema di particelle semplice come il modello del gas perfetto, possiamo definire il lavoro compiuto da sistema sempre in modo statistico, ad esempio per un cilindro è dato da:

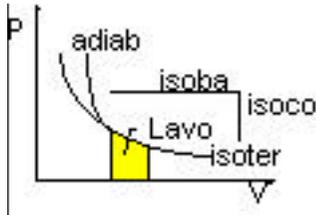


$$L = F \, dX = P \, dV \quad (P = \text{Forza/Superficie})$$

È molto utile la rappresentazione sul piano P-V delle trasformazioni che subisce il sistema. Il lavoro è rappresentato nel diagramma come l'area sottesa dal tratto che rappresenta la trasformazione.

È importante notare che a differenza delle considerazioni fatte a proposito delle forze non conservative, in questo caso il tragitto da un punto all'altro non è influente.

Possiamo così vedere varie trasformazioni possibili sul diagramma:



isoterma: trasformazione a temperatura costante

isobara: a pressione costante

adiabatica: senza scambio di calore

isocora: a volume costante (nessun lavoro)

Esiste però anche un'altra forma di energia scambiata con l'esterno che non è data dal movimento del pistone, ma da scambi di energia tra le molecole tra l'interno e l'esterno del sistema: il Calore.

CALORE

Il calore altro non è che una forma di energia e quindi equivalente al lavoro, energia trasferita tra due sistemi.

È considerato un valore positivo (+) quando il trasferimento d'energia avviene sul sistema in esame. È considerato negativo (-) quando il trasferimento avviene dal sistema in esame verso l'esterno. Perciò il calore positivo ci sarà su un corpo che assorbe energia dall'ambiente o da un sistema esterno, e quello negativo ci sarà nel caso di un corpo che cede energia.

Essendo una forma di lavoro il lavoro può essere espresso in joule anche se spesso si preferisce usare la caloria come unità di misura:

$$1 \text{ caloria} = 4,184 \text{ J}$$

Il calore è quindi la produzione di energia che scaturisce da una variazione di temperatura tra un sistema di riferimento e l'ambiente circostante.

Quando un sistema non cede né assorbe energia la trasformazione si dice adiabatica.

Inoltre due sistemi in equilibrio termico (cioè in cui non avvengono scambi di calore) devono essere alla stessa temperatura (principio zero della termodinamica).

Possiamo ora riprendere il principio di conservazione dell'energia applicandolo ad un sistema di particelle, che diviene il primo principio della termodinamica.

PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

$$(U=Q - W$$

La variazione di energia interna di un sistema (U) è uguale alla differenza (o alla somma algebrica) tra il calore assorbito e il lavoro compiuto dal sistema. L'energia interna non dipende dal processo di trasformazione e quindi dal tragitto nel diagramma PV, ma dipende unicamente da parametri come P, V, T.

Quando un sistema è ciclico, cioè il sistema ritorna all'energia interna iniziale. Nel diagramma questo significa che il lavoro compiuto dal sistema è pari al calore fornito al sistema, e cioè l'area racchiusa dal ciclo.

$$(U=0 \text{ quindi } Q = W$$

Questo è il principio con cui funzionano le macchine termiche: viene fornito loro calore ed esse producono lavoro.

Questo è un importante principio perché ci dice che l'energia di un sistema isolato si conserva.

SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Una trasformazione si dice reversibile quando non vi sono forze dissipative quali attriti; in un ciclo composto interamente da trasformazioni reversibili non viene prodotta alcuna variazione osservabile né del sistema, né dell'ambiente circostante. Quindi solo queste trasformazioni sono rappresentabili in un diagramma PV; inoltre intuitivamente si comprende che le trasformazioni reversibili sono le più efficienti, non avendo dissipazioni di energia.

Il secondo principio della termodinamica può essere enunciato in diverse maniere:

- in un sistema isolato l'entropia aumenta o resta costante la conduzione di calore avviene sempre spontaneamente da un corpo più caldo ad uno più freddo

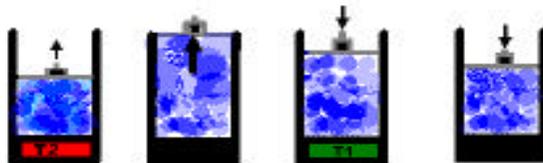
- in un ciclo non tutto il calore assorbito può essere convertito in lavoro.

Tutte queste enunciazioni suggeriscono una direzione probabilistica nei processi spontanei termodinamici. Quella che più interessa le questioni energetiche è l'enunciato della macchina termica, che trasforma il calore in lavoro.

IL CICLO DI CARNOT

Consideriamo che in un ciclo la produzione di lavoro meccanico avviene con il passaggio d'energia di un corpo che passa da una temperatura maggiore a una minore.

Consideriamo perciò due fonti, una sorgente e un refrigerante per permettere al ciclo di ritornare nella sua condizione iniziale



I 4 stati corrispondono alle 4 trasformazioni del ciclo di Carnot

Il secondo principio della termodinamica dice che non è possibile trasformare in lavoro meccanico tutta l'energia fornita sotto forma di calore, in sostanza non esiste un motore perfetto.

Nel disegno sono rappresentate e 4 fasi del ciclo di Carnot. Il ciclo, reversibile, è composto da due isoterme a temperature T_1 e T_2 e da due adiabatiche per passare da una temperatura all'altra.

Nella prima fase un gas viene messo in contatto con una sorgente di calore a temperatura T_2 , quindi il gas aumenta di volume e il pistone si alza al massimo.

Nella terza fase il gas viene messo in contatto con il refrigerante, perché ritorna al suo stato iniziale; è in questa fase che si ha dispersione di energia, dove si intende che non tutto il calore fornito viene trasformato in lavoro meccanico.

RENDIMENTO Il rendimento di una macchina è rapporto tra il lavoro utile e il calore assorbito dalla macchina:

$$L = Q_2 - Q_1 \quad (\text{dove } L \text{ è il lavoro utile})$$

$$\text{il rendimento} (= Q_2 - Q_1 / Q_2)$$

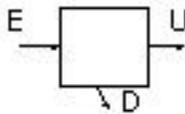
In una macchina termica il rendimento (anche detto efficienza termica) è sempre minore di 1.



Il rendimento massimo corrisponde al rendimento della macchina di Carnot

$$\eta_{\text{Carnot}} = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

EFFICIENZA L'efficienza di un sistema è definita come il rapporto tra



l'energia utile in uscita e l'energia entrante.

$$E = U + D$$

$$\text{efficienza} = U/E$$

1.1.3 Elementi di trasmissione del calore

Una delle enunciazioni del secondo principio della termodinamica è che il calore si trasporta spontaneamente da un corpo caldo a un corpo freddo. Con le macchine termiche come la macchina di Carnot, si trasforma energia termica in energia meccanica. Per poter utilizzare invece l'energia termica è necessario conoscere come si propaga il calore:

a) Conduzione: propagazione attraverso corpi di temperatura diversa a contatto senza spostamento di materia.

La quantità di calore dipende da mezzo e dalle temperature sulle pareti secondo la relazione di Fourier

$$Q = -kS (T_1 - T_2)/d$$

k: coefficiente di conducibilità termica

Q calore che passa attraverso un corpo di superficie S e spessore d con T1 e T2 le temperature alle pareti

La conducibilità termica di un corpo misura quindi la capacità di trasmettere calore attraverso il corpo e dovrà essere alta in uno scambiatore di calore e bassa per un isolamento.

a) Convezione: propagazione con trasporto di materia.

Nei fluidi come l'aria e l'acqua sono i moti convettivi a propagare il calore. L'aria è un ottimo isolante, ma se non è ferma la convezione propagherà il calore molto velocemente.

a) Irraggiamento: propagazione senza bisogno di materia, ma per mezzo dell'energia radiante.

L'emissione d'energia irradiante di un corpo dipende dalla temperatura

$$e_{\text{d}} = s_{\text{d}} T^4$$

mentre l'energia assorbita da un corpo irradiato dipende dal suo potere assorbente, ad esempio un corpo nero assorbe tutta l'energia radiante.

1.2 Fonti di energia e Forme di energia

Per riuscire ad inquadrare bene il problema energetico nel suo complesso (produzione, accumulo, distribuzione, utilizzo) non è sufficiente conoscere le definizioni scientifiche, ma è necessario anche avere un quadro generale di quali siano le tecniche utilizzate (o utilizzabili) per la trasformazione e il trasferimento d'energia. Sono state suddivise le fonti energetiche rinnovabili da quelle non rinnovabili, per aver la possibilità di approfondire più a fondo quelle rinnovabili. Si dà molto peso alle fonti energetiche perché la comprensione delle trasformazioni (fin dalla prima fase) è fondamentale per realizzare o progettare tecniche evolute di risparmio energetico. Il risparmio energetico può infatti essere visto come una utilissima "fonte di energia", sempre più importante, ma per conoscere questa fonte bisogna conoscere le vere fonti energetiche e relative trasformazioni.

Come vedremo possiamo riassumere i principi base del risparmio energetico in:

- utilizzo di fonti rinnovabili
- miglioramento energetico della trasformazione
- integrazione di diverse fonti e di diverse trasformazioni

1.2.1 Definizioni fondamentali

L'Energia è la capacità di produrre lavoro vincendo una resistenza. I corpi di massa e volume misurabili (solidi, liquidi, gassosi), che posso-

no produrre energia si chiamano invece fonti energetiche. Il Calore è l'Energia trasferita attraverso un processo termico.

Tutta l'energia della terra proviene dal sole e noi la conosciamo sotto forma di trasformazione della materia, dando nomi diversi secondo come si manifesta.

- Combustibili: fonti riferite all'energia liberata dalla combustione
- Nucleare: energia liberata da reazioni atomiche
- Radiazione solare: energia radiante proveniente direttamente dal sole
- Geotermica: calore endogeno della terra
- Potenziale: energia posizionale come ad esempio quella idraulica
- Cinetica: energia dovuta al moto di certe masse (aria, correnti marine, maree)

Le Fonti energetiche rinnovabili sono tutte le fonti che non si estraggono dal sottosuolo (carbone, petrolio, gas naturale, uranio). La definizione di rinnovabilità tiene conto del tempo di consumo della fonte in confronto al tempo di formazione della fonte stessa. Per cui l'energia solare è di pronto impiego, l'energia idrica, eolica, dalle biomasse e geotermica sono di breve formazione, mentre l'energia da combustibili provenienti dal sottosuolo (gas naturale, carbone, petrolio) ha tempi di formazione di milioni di anni.

La Combustione è una reazione chimica in cui l'O₂ (comburente) reagisce (brucia) con sostanze contenenti carbonio (combustibili), dando luogo a prodotti di combustione che raggiungono elevate temperature. L'allontanamento del calore prodotto costituisce la fase utile della trasformazione.

Proviamo ora a seguire la storia energetica di un litro di benzina: dalla fusione solare, cioè dai protoni del sole proviene l'energia elettromagnetica chiamata radiazione solare che colpisce sulla terra 10 Kg di alghe, permettendo la fotosintesi e quindi la vita; queste alghe vengono schiacciate all'interno del sottosuolo per 600 milioni di anni fino a diventare petrolio, che viene ora estratto, raffinato per trasformarsi in 1 litro di benzina; il litro di benzina brucia nel motore a scoppio di una automobile per muoverla a 130 Km/h per 20 Km; l'energia non dispersa è stata trasformata in energia cinetica dell'automobile e infine del tutto dispersa nell'ambiente (attriti di varia natura) una volta fermata l'automobile.

Questa breve storia mostra l'importanza di tutte le trasformazioni e soprattutto il grande movimento di energia che si verifica nel mondo naturale. Si calcola che attualmente l'energia utilizzata dalla terra è

10.000 volte quella utilizzata nel mondo artificiale (7 Miliardi Tep/anno di cui 6 provengono da fonti non rinnovabili).

Inoltre ritroviamo i due principi della termodinamica: l'energia dell'universo è sempre costante (I principio) e l'energia della terra proviene interamente dal sole. Tutto dipende da come viene trasformata e come è possibile utilizzarla. Infatti l'energia dispersa in calore ad esempio nei freni dell'automobile difficilmente potrà essere utilizzata.

Si definisce...

- energia primaria: energia che viene mobilitata per soddisfare uno specifico bisogno
- energia degli usi primari: energia che arriva all'utilizzatore
- energia utile: energia che si traduce effettivamente nello scopo assegnato dall'utilizzatore.

efficienza finale: rapporto tra energia utile e energia primaria

La dispersione è irreversibile: anche intuitivamente sappiamo che il tempo sta andando avanti quando vediamo aumentare il "disordine" (entropia), come quando si mischiano sostanze diverse o quando un mucchio di biglie rotolano per terra. L'energia tende a disperdersi spontaneamente in forme sempre meno utili (energia termica diffusa); l'universo evolve dall'ordine verso il disordine (II principio).

Questa rilettura approssimativa dei principi e delle definizioni fisiche ci aiuta a comprendere il problema dell'utilizzo dell'energia.

Esercizi sulle unità di misura:

Quanti litri si scaldano con MJ (milioni di Joule)?

Quanto tempo resta accesa una lampadina da 100 Watt con un MJ?

Quanti metri si solleva una tonnellata con MJ?

Quanti Joule é un Tep?

1.2.2 Fonti di energia

Le fonti energetiche si possono suddividere in:

1. Fonti di Energia ad alta concentrazione o a ciclo lento come il carbone, il petrolio, la geotermica, il nucleare
2. Fonti di Energia a ciclo breve: vento, maree, idraulica, sintesi clorofilliana
3. Fonti di Energia a flusso continuo: l'irraggiamento solare

Come già descritto il 90% dell'energia utilizzata nel mondo artificiale proviene da combustibili fossili, che come abbiamo definito sono energie non rinnovabili.

Qualche utilizzo energetico rispetto alle fonti:

Rinnovabili

Solare: il pannello solare cattura le radiazioni solari per trasformare la loro energia in energia termica (scaldare acqua). Le celle fotovoltaiche (formati da semiconduttori al silicio) trasformano direttamente in elettricità il 6% della radiazione solare.

Idrica: si utilizza l'energia potenziale gravitazionale dell'acqua dei fiumi o dei laghi, oppure l'energia cinetica dell'acqua dei fiumi o del mare. Attraverso le turbine (versione moderna dei mulini ad acqua) questa energia viene trasformata in energia meccanica e quindi in energia elettrica attraverso un alternatore.

Eolica: utilizza l'energia cinetica del vento per trasformarla attraverso le pale o eliche in energia meccanica e quindi in energia elettrica (aerogeneratori) oppure direttamente utilizzata.

Biomasse: l'energia contenuta nei resti organici (come la legna, i resti vegetali o escrementi animali) viene trasformata in un combustibile come il metano e quindi utilizzata per produrre calore (energia termica). E' rinnovabile finché non si sconvolge il ciclo della sostanza organica.

Geotermica: calore endogeno della terra fuoriesce come acqua calda o come vapore e quindi utilizzato o direttamente o per produrre energia elettrica. E' rinnovabile perché la temperatura della terra non subisce variazioni.

Non rinnovabili

Carbone: proviene dalla trasformazione di sostanze organiche compatte insieme a sostanze inorganiche (impurità); viene utilizzato come combustibile, anche se è più inquinante a causa delle impurità.

Petrolio: proviene dalla trasformazione di fossili organici (idrocarburi) e viene utilizzato una volta trasformato in combustibile (gas GPL, benzine, oli) oltre che per produrre materie plastiche.

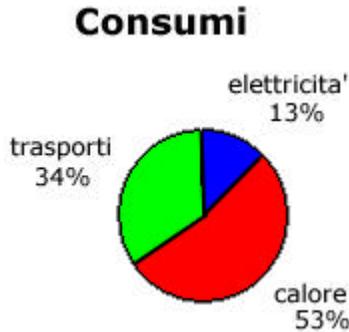
Gas naturale: è la fase gassosa del petrolio e può essere utilizzato direttamente come combustibile. E' più pulito rispetto al petrolio perché non richiede trattamenti e inquina meno (prevalentemente metano).

nucleare: energie provenienti da reazioni atomiche. La fissione si basa sulla energia liberata dalla scomposizione di atomi di Uranio. La fusione è la stessa reazione che avviene nel sole e si basa sull'energia liberata dalla fusione di atomi d'idrogeno. Entrambe le reazioni liberano enormi quantità di calore poiché le forze in gioco, le forze atomiche, sono di ordini di grandezza superiore rispetto alle altre forze. La fissione è una fonte non rinnovabile a causa della rarità dell'uranio, estratto dal sotto-

suolo. Il problema di questa fonte energetica è comunque legato all'inquinamento radioattivo e ai pericoli connessi alla trasformazione.

1.2.3 Consumo e impatto ambientale

Il problema energetico è connesso sia alla non rinnovabilità delle fonti di energia utilizzate nel mondo artificiale, sia ai problemi d'inquinamento connessi alle trasformazioni dell'energia.



Il tipo di trasformazione e la produzione d'energia utile non possono essere slegati dal tipo di consumo, dall'inquinamento o più genericamente dall'impatto ambientale connesso.

Gran parte dell'energia che si utilizza viene consumata sotto forma di calore per la casa e per l'industria, mentre solo una minima parte (13%) è utilizzata come energia elettrica.

L'energia elettrica è la forma più preziosa perché tutta utilizzabile, mentre l'energia termica è molto meno preziosa, o di qualità inferiore poiché è più difficile ricavare energia utile. La prima considerazione è quindi che diversi consumi devono prendere energia da diversi canali o trasformazioni. Ad esempio: è stupido utilizzare energia elettrica per scaldare acqua, come del resto è impossibile utilizzare l'acqua calda per accendere una lampadina.

Inoltre bisogna considerare tutti i passaggi e le trasformazioni energetiche che partono dalla fonte, per arrivare al consumatore e infine alla forma d'energia desiderata. In tutti questi passaggi (ad esempio per il petrolio: estrazione, raffinamento, trasporto) ci sono perdite e consumo d'energia.

Secondo la definizione di efficienza data precedentemente, nella produzione di acqua calda da elettricità, l'efficienza finale è del 28%, prevalentemente a causa delle grosse perdite nella centrale elettrica, per cui il 72% dell'energia primaria viene dispersa (cioè persa); mentre l'efficienza finale per lo stesso uso con l'utilizzo della combustione è di circa il 65%.

Oltre all'aspetto della resa energetica bisogna tenere conto anche del-

l'inquinamento. Nel caso della combustione, ad esempio, per scaldare acqua vengono prodotti questi inquinanti dell'aria:

SO₂ anidride solforosa (nel caso ci sia zolfo, ad esempio non nel metano): necessita di desolforazione sui fumi degli impianti

Ossidi di azoto NO NO₂ NO₃: dipende dal tipo di combustione e dalla temperatura. Necessitano di denitrificatori dei fumi.

Ossidi di carbonio CO: è molto pericoloso per la salute, è dato da combustione non perfetta o non completa.

polveri: necessitano di rimozione della polvere dai fumi.

Nelle centrali termoelettriche esiste sia il problema della depurazione dei fumi, sia dello smaltimento delle ceneri. Così pure i motori inquinano l'aria sempre per la combustione.

Se si analizzano i dati di efficienza in Italia relativi al consumo energetico nel riscaldamento (media 50%), elettricità (media 16%), trasporto (media 18%), ci si rende conto che il risparmio energetico può portare enormi miglioramenti. Ad esempio l'efficienza minima è raggiunta dalla lampadina (2%) perché alle perdite della centrale si aggiungono le dispersioni nelle lampadine a incandescenza (che trasformano in luce solo il 5% dell'energia elettrica ricevuta).

Dei 145 milioni di Tep d'energia in entrata, 45 è energia utile (circa 30%); non si tratta di aumentare l'efficienza dei singoli pezzi, ma di diminuire l'entità d'energia impiegata, cioè di usare canali appropriati e consumare in maniera energeticamente conveniente.

Nell'intero pianeta la situazione è analoga. Gli 8,2 miliardi di Tep (pari al lago di Lugano) d'energia consumata annualmente è suddivisa in: 40 % petrolio, 30% carbone, 21% gas naturale, 5% nucleare, 4% centrali idroelettriche.

Le differenze però sono enormi in funzione dello sviluppo: mentre un americano consuma 20 Tep l'anno, ½ Tep viene consumato da un indiano.

Vedremo in seguito alcune soluzioni per il risparmio energetico; concludiamo per ora con qualche spunto:

- i sistemi a energia totale, cioè cogenerazione di calore ed energia elettrica, come le centrali con teleriscaldamento possono ottenere risparmi del 40%

- la regolazione dell'acqua calda e l'isolamento delle case possono dare risparmi del 40-50%.

- l'illuminazione con lampade a fluorescenza danno risparmi del 75% così come la sostituzione di apparecchi che trasformano in calore l'elettricità (dallo scaldabagno alla lavatrice).

2. Fonti di energia rinnovabili

Problematiche legate alle energie rinnovabili

I principali problemi legati alle energie rinnovabili (cioè a ciclo breve o continuo) sono, in genere:

l'occasionalità delle fonti, cioè la discontinuità del flusso, che comporta metodi di immagazzinamento (come l'accumulazione dell'energia elettrica in batterie)

la complessità di regolazione dei sistemi integrati che utilizzano più fonti di energia, necessari per bilanciare l'occasionalità delle fonti.

Inoltre la bassa concentrazione d'energia significa inoltre dover ottenere cercare un'alta efficienza dei sistemi di trasformazione.

Per valutare una tecnologia è necessario considerare la fattibilità tecnica (cioè l'esistenza della strumentazione adatta), la fattibilità economica (la rendita effettiva dell'impianto), l'economia energetica (cioè il bilancio tra l'energia necessaria e l'energia prodotta). Esempio tipico è il fotovoltaico che normalmente spende più energia di quanta se ne utilizza.

La via tecnologicamente più interessante è l'integrazione energetica (unire in un sistema complesso e più efficiente fonti energetiche diverse o domande energetiche diverse) e l'aumento delle fonti, utilizzabili in ogni impianto o macchinario (macchine che funzionano con più combustibili o policombustibili, e con il gas).

Il ciclo della materia può tendere quasi a chiudersi nell'azienda agricola dove biogas, eolico, solare possono fornire energia elettrica, termica, di trasporto oltre a fertilizzante attraverso immagazzinamento del gas, cogenerazione e accumulo termico.

2.1 Energia solare

2.1.1 Concetti di base

La radiazione solare emette soprattutto onde corte, nello spettro del visibile. La lunghezza d'onda elettromagnetica si misura in micron ((, millesimi di millimetro) ed è l'inverso della frequenza (Hz).

L'intensità della luce è maggiore per le lunghezze d'onda comprese tra 0,35 micron (violetto) e 0,75 micron (rosso), cioè nello spettro del visibile.

La costante solare, cioè l'intensità totale della radiazione che colpisce un quadrato perpendicolare al raggio di un metroquadrato è 1353 Watt/m².

Sulla superficie terrestre, però, la radiazione che arriva è minore e dipende dalla lunghezza d'atmosfera attraversata, quindi dalle stagioni,

alla latitudine, dall'orario e dalle condizioni atmosferiche.

Nelle condizioni migliori, cioè allo zenit (sole verticale) e cielo limpido la radiazione diminuisce per la diffusione, assorbimento e riflessione dell'atmosfera a 1000 Watt/m², mentre può essere maggiore in montagna all'aumentare dell'altitudine (i primi 100 Km dell'atmosfera sono responsabili della diffusione solare).

In realtà l'energia intercettata sulla terra è più complessa da calcolare: è la somma della radiazione diretta e diffusa.

$$E_{\text{int}} = R_{\text{diretta}} + R_{\text{diffusa}}$$

La radiazione solare viene in parte riflessa nello spazio, principalmente ad opera delle nubi; in parte diffusa in tutte le direzioni per l'incontro con molecole di azoto, ossigeno, vapore acqueo, anidride carbonica, ozono; in parte viene assorbita dalle molecole dell'atmosfera che si riscaldano ed emettono radiazione infrarossa. Infine, il restante costituisce la radiazione diretta. Come indicazione di massima la radiazione diretta va dal 60% nel caso di sereno al 30% nel caso di nubi.

La radiazione diffusa è la somma della solare diffusa nell'atmosfera e della radiazione infrarossa emessa dall'atmosfera in seguito all'assorbimento.

In situazioni ottimali, come nell'Italia meridionale, è possibile effettuare un calcolo di questo tipo:

$$E = 1 \text{ KW} \cdot 0,8 \cdot 8600 \cdot 8/24 \cdot 315/365 = 2000 \text{ Kwh/m}^2 \text{ per anno}$$

0,8 = coefficiente di riduzione della densità di potenza mediata sull'arco di 8 ore al giorno

8600 = ore in un anno

8/24 = giorni di sole in un giorno

315/365 = giorni di sole l'anno

Un'altra condizione da tenere conto, nell'utilizzo dell'energia solare, è l'inclinazione della superficie captante rispetto alla radiazione diretta (quella diffusa arriva da tutte le direzioni). L'intensità dipende dal coseno dell'angolo formato dal raggio con la superficie per cui è massima se perpendicolare (90°) e rimane alta (90%) se compreso in un cono di 25°.

2.1.2 Fotovoltaico

I Pannelli fotovoltaici trasformano direttamente in energia elettrica la radiazione solare.

Sono semplici nell'utilizzo, ma costruiti con tecnologia sofisticata. Il principio si basa sull'eccitamento in un semiconduttore colpito da radiazione solare di elettroni che si spostano dalla loro orbita e creano un piccolo campo elettrico. Si comporta quindi come una pila che risulta dipendere strettamente dall'intensità della radiazione, anche in questo caso diretta e diffusa. Generalmente la cella fotovoltaica viene immersa in uno strato di incapsulante plastico e chiuso tra due vetri per mantenere una bassa temperatura. Collegando i due poli di ogni cella in maniera opportuna (in serie per sommare il voltaggio (V), in parallelo per sommare la corrente (I) si ottengono il voltaggio e la corrente elettrica massima desiderata. Generalmente le celle sono unite in pannelli, anch'essi collegabili come si vuole.

Il rendimento è di circa 0,1 (10%). Questo è dovuto a vari fattori:

le celle sono sensibili solo all'interno di un campo di lunghezza d'onda una parte della luce incidente viene persa perché riflessa dalla superficie una parte dell'energia si trasforma in calore della cella, che oltretutto è dannoso per la cella stessa e ne abbassa il rendimento i contatti presentano un certa resistenza elettrica, che dissipa parte dell'energia elettrica prodotta.

Solitamente il calcolo si effettua sulla media giornaliera, anche perché l'intensità di corrente, e quindi la carica della batteria, variano molto.

L'energia fornita in un giorno, cioè in 6 ore sfruttabili al 40% della potenza di picco è calcolabile:

$$E=2,4 nP1 \text{ (in W)}$$

n=numero di pannelli

P1=potenza di picco del pannello

La produzione, sia per il costo, sia per l'energia spesa, rimane il neo di questa tecnologia. La ricerca sta spingendo su celle al silicio dalla struttura meno regolare (da silicio monocristallino al policristallino, fino all'amorfo, come il vetro).

Un'applicazione importante oltre alla produzione di energia per piccoli sistemi isolati o per la casa è il pompaggio di acqua fotovoltaico (con accumulazione tramite batterie o senza accumulazione).

2.1.3 Solare per la produzione di calore

I Collettori o pannelli solari trasformano l'energia solare in energia termica.

Sono diffusi e semplici, si basano tutti sullo stesso principio: una lastra trasparente che dà l'effetto serra, una superficie metallica captante con circuito del fluido di trasporto, uno strato isolante nero per assorbire il massimo possibile dentro il collettore. Molti sono i tipi, dalla lastra assorbente e tubi saldati al Roll Bond, ai vacuum sotto vuoto.

Da tenere presenti la corrosione dei condotti, l'umidità per l'isolamento nel retro del pannello, la chiusura stagna del pannello per evitare la condensa. L'angolo di esposizione deve seguire la media annuale e comunque i collettori non raccolgono solo la radiazione diretta, ma anche quella diffusa.

Il rendimento varia molto col pannello, ma per quelli buoni è di 0,5 (50%).

L'applicazione più nota è il riscaldamento di acqua calda con sistemi attivi che spesso necessitano di energia esterna per muovere il fluido. Nel caso della circolazione naturale, invece si utilizza la differenza di temperatura dell'acqua per far circolare il fluido.

Altri sistemi che utilizzano lo stesso principio sono:

La refrigerazione è un'altra applicazione del collettore, che viene utilizzato in sostituzione del compressore del frigorifero.

Gli essiccatori solari riscaldando l'aria forzano l'essiccazione degli alimenti con sistemi molto semplici, così come i distillatori dell'acqua producono acqua distillata dall'acqua salata.

2.2 Energia idrica

2.2.1 Concetti di base

L'acqua ha una densità elevata (800 volte l'aria) e quindi va considerata come un vettore di energia meccanica molto potente. Per questo motivo è sempre stata usata nella storia per trasmettere e per produrre energia.

Le Ruote idrauliche (mulini ad acqua) sono stati usati nel passato per applicazioni meccaniche (macina, pompa) e poi per produrre energia elettrica (ruote idrauliche).

Per calcolare l'energia utile si considera la potenza idrica:

$$P = 9,8 Q H \text{ (in Watt)}$$

Q=portata (in litri al secondo)

H=salto (in metri)

hđ=rendimento (da 0,3 a 0,6)

La ruota può sfruttare piccoli salti ed è molto semplice da costruire, ma è anche lenta e voluminosa, e necessita di canalizzazione.

L'evoluzione tecnologica della ruota idraulica è stata la turbina idraulica, molto studiata, specie in Italia, e che ha raggiunto un alto grado di sofisticazione tecnologica (rendimenti massimizzati).

Un altro utilizzo dell'energia idrica è l'Ariete idraulico che sfrutta il fenomeno del "colpo d'ariete" per pompare acqua utilizzando la sola energia di un piccolo salto (con un salto di 1,5 metri si può arrivare a 30 metri di altezza).

2.2.2 Descrizione delle turbine idroelettriche e scelta

La Turbina idroelettrica è utilizzata per la generazione di corrente prevalentemente nelle centrali idroelettriche, anche se esistono microturbine di livello avanzato per le piccole potenze.

Le turbine si suddividono in due specie:

Ad azione: lavorano all'aria (non immerse nell'acqua), l'acqua arriva passando da un ugello che aumenta la velocità dell'acqua (trasforma la pressione data dal salto in velocità). Adatte per grandi salti.

Per le piccole dimensioni:

1. Turbina Pelton: ha la forma della pala a doppio cucchiaino e ha un rendimento di circa 0,6
2. A flusso incrociato: come la Michell Banki, l'acqua attraversa due volte la girante che sta sotto una chiusa

A reazione: per grandi portate d'acqua, sono immerse nell'acqua in una camera stagna in modo da utilizzare anche l'energia di "reazione" data dalle pale; la costruzione è molto più complessa (turbina Francis o Kaplan).

Nelle centrali idroelettriche avviene un trasferimento di energia potenziale dell'acqua a energia meccanica attraverso il passaggio dell'acqua stessa in una turbina, e la trasformazione dell'energia meccanica della turbina in energia elettrica (alternata) tramite un generatore (alternatore).

Si distinguono impianti di piccolo salto (e grande portata) e di grande salto (con condutture a piccola portata).

Si calcola la potenza in KW effettiva

$$Ne=9,81 \text{ nt } ng \text{ Q Hn}$$

nt = rendimento della turbina (0,75 - 0,92)

ng = rendimento del generatore (0,92 - 0,98)

Q = portata utilizzabile (in m^3/s)

Hn = salto utile netto

Applicazione e scelta della turbina

Data la potenza si calcola il numero caratteristico di giri che andrà poi a determinare il tipo di turbina

$$n_s = \frac{n}{h} \sqrt{\frac{N_t}{\sqrt{H}}}$$

H = salto

N_t = potenza della turbina

n = velocità normale di rotazione (giri/min) = 120 f/p

f: = frequenza della corrente (50 Hz)

p = numero di poli dell'alternatore (10-24)

0-22	22-44	52-90	90-220	220-440	440-880
Pelton 1 ugello	Pelton + ugelli	Francis lenta 1 ruota	Francis 1 ruota	Francis + ruota	Kaplan o Elica a pale fisse

tabella delle caratteristiche generali della turbina secondo il numero caratteristico di giri

2.3 Energia eolica

2.3.1 Concetti di base

Data la scarsa intensità energetica (bassa densità dell'aria), gli impianti devono essere grandi, specie se utilizzati per produrre energia elettrica.

In generale si considera utile il 30% dell'energia posseduta dal vento: il 41% dell'energia viene portata via dal vento in uscita, mentre il 29% viene dissipata in turbolenze e attriti.

Pompe multipala: la forma del classico mulino a vento, utilizzato per pompare acqua anche a 100 m di profondità.

Per calcolare la Potenza: (in Watt)

$$P=0,487 V^3D^2E$$

V=velocità del vento (m/s)

D=diametro della girante (m)

E=rendimento globale (circa 0,25)

Pompa Savonius: per venti deboli; indicato per pompe di piccola potenza; ad asse verticale e costruibile facilmente. Potenza:

$$P=0,62 V^3 h l E$$

h=altezza della girante

l=larghezza della girante

E=rendimento globale (0,15)

Aerogeneratori: producono energia elettrica attraverso un generatore montato sulla girante. La rotazione è molto più veloce di quella delle pompe, poche sono le pale, il profilo è altamente aerodinamico; generalmente è difficile l'avviamento, quindi i venti devono essere medio-forti (> 5-6 m/s); i rendimenti sono più alti (anche 0,35).

I due problemi principali degli aerogeneratori sono le sollecitazioni meccaniche date dalla velocità delle pale e l'accumulo della corrente elettrica. Per l'accumulo per sistemi piccoli si utilizzano batterie, mentre laddove è possibile produrre corrente alternata può essere interessante l'accumulo nella rete elettrica (vendendo energia in surplus e comprando l'energia quando necessita). Un altro metodo in studio per l'accumulo può essere la produzione di idrogeno per elettrolisi e accumulo di idrogeno per poi essere utilizzato come combustibile.

Mulini ibridi (Darreius): uniscono le caratteristiche migliori degli aerogeneratori (alta velocità, rendimenti anche di 0,4, aerodinamicità delle pale) e dei mulini (asse verticale, semplicità di costruzione); il grosso svantaggio è la difficoltà di avviamento.

2.4 Energia dalle biomasse

2.4.1 Concetti di base

Si intende con energia dalle biomasse quella che si ottiene dalla fermentazione dei prodotti vegetali o dei loro scarti (es. escrementi animali) o attraverso la gassificazione tramite pirolisi (decomposizione per azione del calore).

Biogas

Il biogas si ottiene tramite fermentazione metanogena (produzione di metano CH₄) anaerobica, prodotta da batteri che decompongono materiale organico (escrementi animali o umani, rifiuti organici domestici, scarti vegetali, alghe) in assenza di aria. Il processo può essere riassunto nella formula:



Ne risulta una miscela di metano (50-70%), anidride carbonica (35-40%) e altri gas. Per avere un'idea, un bovino produce 1 m³ di biogas al giorno (l'energia di 0,7 litri di benzina).

Da tenere presente per la produzione alcuni parametri delicati, da tenere sotto controllo:

il rapporto C/N (carbonio su azoto) vicino a 30 come negli escrementi bovini;

la temperatura tra 25 e 35 gradi, sotto i 15 si arresta il processo, quindi essa determina la durata del processo, normalmente tra 20-60 giorni;

il pH deve mantenersi neutro;

il contenuto di acqua deve arrivare a rendere fluido il contenuto.

Nel trattamento dei rifiuti organici, degli escrementi animali, di grandi quantità di alghe o di altri residui organici la produzione di biogas è sicuramente interessante e conveniente, così come per impianti piccoli e semplici (impianti di fattoria tipo indiano o cinese). Inoltre il residuo è un ottimo fertilizzante.

Alcool etilico (etanolo)

La produzione di carburante dalla biomassa. La cellulosa e l'amido (trasformati in zuccheri con l'idrolisi) e lo zucchero sono trasformabili in alcool per via biologica. Come per il vino la fermentazione anaerobica produce alcool che va distillato e questo comporta molta energia per la bollitura. L'etanolo si usa come carburante miscelato a benzina (piano brasiliano per il 20% del carburante con etanolo) oppure puro (con acqua anche al 15%).

Pirolisi e gassificazione

La pirolisi è la distillazione secca, cioè i processi di decomposizione che avvengono scaldando senza ossigeno (come nella produzione di carbonella).

Diversamente dalla gassificazione, che avviene ad alta temperatura e produce solo gas oltre alla cenere, la pirolisi è indicata su piccola scala per produrre carbonella (15-40%), gas (14-35%), catrame (5-15%) e acido pirolegnoso (20-40%).

2.5 Energia geotermica

Anche la terra è in grado di produrre vapore. Le rocce del profondo sottosuolo possiedono ancora parte del calore che avevano quando si sono staccate dal sole; queste rocce, venendo a contatto con l'acqua che filtra nel sottosuolo dalla superficie, sono in grado di riscaldarla fino a creare vapore in sacche più o meno grandi e profonde. Perforando opportuna-

mente il sottosuolo fino ad incontrare queste sacche, si può liberare il vapore ivi contenuto e sfruttarlo per produrre energia elettrica, utilizzando direttamente l'energia termica. In una centrale geotermica la terra si sostituisce quindi alla caldaia di una centrale termica per produrre il vapore necessario a muovere il turbogeneratore.

In Italia si produce più energia elettrica con questa fonte che in tutti gli altri paesi del Mondo, date le favorevoli condizioni geologiche.

Hot Dry Rock

Un futuro promettente utilizzo dell'energia geotermica è l'HDR (Hot Dry Rock, ovvero rocce del sottosuolo ad alta temperatura). Mentre le tecniche basate sull'acqua scaldata dalla terra sono ormai conosciute e applicate, l'HDR utilizza l'energia termica delle rocce calde senza presenza di acqua (impermeabili o meglio secche) e quindi è indipendente dalla particolarità del luogo, che permette il riscaldamento dell'acqua nel sottosuolo rendendola disponibile in superficie.

2.6 Accumulo di energia: Batterie, idrogeno, in rete

Data l'occasionalità delle energie rinnovabili, il problema dell'accumulo dell'energia diventa centrale. Come si è già visto per le basse potenze nella produzione di energia elettrica si utilizzano batterie.

Le batterie accumulano energia elettrica a corrente continua e a bassa tensione (ad esempio 24 Volt per le batterie tipo quelle delle automobili). Un sistema energetico basato sulle batterie ha un'efficienza molto bassa dato che funzionano bene (cioè non si scaricano rapidamente) solo entro certi limiti di potenza impiegata; oltre a questo le batterie necessitano di manutenzione e non durano molto tempo. Un miglioramento a queste condizioni è la batteria stazionaria, più robusta, duratura e pesante di quelle tipo automobili. Sebbene necessitino di manutenzione periodica, le batterie stazionarie al piombo consentono durate di 10-15 anni, e si può calcolare una efficienza in termini di energia resa (Wh resi) di 0,75-0,80 e in termini di quantità di corrente resi (Ah) di 0,9-0,95.

La produzione di idrogeno per via elettrolitica è un metodo conveniente per accumulare energia discontinua come quella eolica e solare. Oltre a ciò in linea di principio costa meno trasportare idrogeno in gasdotti rispetto a trasmettere elettricità via cavo, per cui è possibile produrre idrogeno in luoghi diversi dal luogo di utilizzo.

L'idrogeno è da preferire ai combustibili fossili perché ha una combustione a impatto ambientale bassissimo: la combustione dell'idrogeno produce solo acqua, non c'è emissione di ossidi di carbonio, biossido di zolfo, idrocarburi o percolato; gli unici inquinanti sono ossidi di azoto, che però possono essere prodotti in quantità molto basse. Attualmente

la produzione di idrogeno avviene a partire dal gas naturale (metano -> idrogeno) e dai prodotti petroliferi, ma è possibile per via elettrolitica, con una cella elettrolitica, che trasforma l'energia elettrica a corrente continua in idrogeno. E' necessaria però una grande quantità di energia (il 2% delle aree desertiche della terra possono attraverso celle fotovoltaiche produrre l'idrogeno pari all'attuale consumo mondiale di combustibili fossili) nell'elettrolisi: si richiedono 4,6 kWh per metro cubo di idrogeno normale, cioè alla pressione di 1 atmosfera e alla temperatura di 0°C. Il rendimento della cella elettrolitica, cioè il rapporto tra l'energia fornita e il potere calorifico dell'idrogeno prodotto, è di 65%; se però si tiene conto della trasformazione di nuovo in elettricità (efficienza del 35%), il rendimento globale è del 25%.

L'accumulo in rete elettrica è invece una soluzione molto conveniente nel caso esista l'allacciamento alla rete elettrica e che esista la possibilità di vendere l'energia ad un prezzo ragionevolmente correlato al prezzo di acquisto. Tecnicamente non è un vero accumulo, ma si tratta piuttosto di un mercato (il mercato mondiale dell'energia elettrica) in cui gli eccessi di energia in un punto si equilibrano con le mancanze di energia in un altro punto.

3. Tecniche di risparmio energetico

3.2 Risparmio dell'energia elettrica

L'efficienza elettrica è sicuramente un campo in cui si possono realizzare elevati risparmi di energia. Si calcola che con le attuali tecnologie è possibile risparmiare in media il 40% di energia e ci sono molti esempi per cui questo risparmio, specie nelle industrie ha dato entro l'anno un risparmio economico rilevante.

Illuminazione

Negli Stati Uniti un quarto circa dell'energia elettrica è consumato nell'illuminazione: il 20% direttamente e il 5% dagli impianti di climatizzazione, per compensare il calore emesso dalle lampade. In Italia il consumo diretto è dell'11% (17% nelle abitazioni) ed è possibile con le lampade a fluorescenza risparmiare 75-85% dell'energia rispetto all'illuminazione con lampade a incandescenza.

Uso domestico dell'elettricità'	consumo globale	diffusione	consumo annuo per apparecchio (kWh)	potenza media (kWh)
scaldabagno	23%	49%	930	1000-1500
lavabiancheria	17%	10%	450	1500-3500
illuminazione	17%	100%	200	20-100
frigorifero	15%	97%	320	100-300
televisione	9%	94%	188	100
cucina e forno	6%	44%	137	1500
lavastoviglie	5%	10%	940	2000-3500
congelatore	4%	18%	480	100-200
condizionatore	1%	1%	790	400-3000
altre applicazioni	3%			

Le lampade a fluorescenza a parità di flusso luminoso (misurato in lumen, in pratica misura l'intensità di luce) consumano un quinto dell'energia elettrica consumata dalle lampade a incandescenza (le normali "lampadine") e durano in media otto volte di più, per cui sommando questi vantaggi si ottiene un grande risparmio di energia e anche economico.

Confronto a parità di flusso luminoso	<i>Lampada a fluorescenza</i>	<i>Lampada a incandescenza</i>
potenza	20 W	100 W
durata	8.000 ore	1000 ore
costo	L. 24.000	L. 2000
energia annua (media 2000 ore di accensione)	40 kWh	200 kWh
costo annuo (L.200 a kWh)	L. 8000	L. 40.000
costo 4 anni (con sostituzione di 8 lampade a incandescenza)	L. 32.000	L. 160.000+16.000

Da questo semplice calcolo risulta che in meno di un anno si è ripagata la spesa iniziale e in 4 anni si può risparmiare 120.000 per ogni postazione luminosa da 1200 lumen (una lampadina a incandescenza di 100 W). Tutto ciò con una significativa riduzione di inquinamento a causa del risparmio energetico.

Esistono fondamentalmente due tipi di lampade, quelle a incandescenza (riscaldamento di filamenti) e quelle a fluorescenza (riscaldamento di un gas).

Incandescenti: le comuni "lampadine" sono semplici ed economiche, ma durano poco e hanno una bassa efficienza energetica (solo il 5% dell'energia ricevuta si tramuta in energia luminosa). Le lampade ad alogeni hanno una efficienza energetica maggiore e danno molta luce, anche se a parità di flusso luminoso consumano più delle lampade a fluorescenza.

Fluorescenti: le lampade a fluorescenza hanno una elevata durata ed efficienza energetica, ma necessitano di dispositivi per l'accensione che ne aumentano il costo e la difficoltà di montaggio. Le lampade a fluorescenza compatte integrano i dispositivi per l'accensione nella lampada per cui possono sostituire le diffusissime lampadine (hanno lo stesso attacco); inoltre quelle ad accensione elettronica rendono istantanea l'accensione e sono più resistenti a frequenti accensioni.

Oltre alla sostituzione delle lampade con lampade a basso consumo (questo vale sia nelle abitazioni, sia negli edifici commerciali, sia nelle industrie) esistono anche altre tecniche per il risparmio energetico nell'illuminazione quali: il corretto posizionamento dei punti luce, la chiarezza delle pareti e del soffitto, l'ottimizzazione delle parti riflettenti della lampada, sistemi elettronici di controllo presenza e di variazione della potenza luminosa (secondo la variazione di luce diurna), accorgimenti progettuali per la captazione della luce diurna (illuminazione naturale).

Motori

La maggiore prospettiva di risparmio elettrico dopo l'illuminazione è offerta dai motori elettrici che consumano il 65-70% dell'energia elettrica nelle industrie e più della metà di tutti i consumi elettrici negli Stati Uniti. Esistono ora motori elettrici ad alto rendimento (perdite ridotte) e a variazione di velocità che consentono un notevole risparmio. Inoltre altre 33 migliorie sono possibili nella scelta, nella manutenzione, nel dimensionamento, dal controllo del motore e dalla trasmissione elettrica al motore. Tutte queste migliorie accessorie, oltre alla sostituzione con motori ad alto rendimento e a velocità variabile, possono portare a dimezzare l'energia richiesta con un recupero medio dell'investimento economico iniziale di circa 16 mesi.

Elettrodomestici

Ai progressi nella tecnologia dei motori e dell'illuminazione fanno riscontro quelli degli elettrodomestici efficienti. Con i frigoriferi e congelatori ad alta efficienza si possono risparmiare 80% dell'energia, con i condizionatori commerciali il 50%, con i televisori il 75%, con le fotocopiiatrici il 90%, con i computer il 95%.

Scaldabagno: per scaldare l'acqua esistono vari tipi di impianti: lo scaldabagno ad accumulo con resistenza elettrica come si è già notato è un controsenso energetico e come si vede dalla tabella è anche il maggiore responsabile del consumo di energia elettrica nelle abitazioni italiane. Lo scaldabagno a gas (istantaneo o ad accumulo) è molto più efficiente. Sempre a elettricità, ma con una efficienza molto maggiore è la pompa di calore, che funziona come il frigorifero ma all'inverso (preleva calore dall'ambiente per scaldare l'acqua) e può funzionare anche per riscaldamento e con il ciclo inverso per raffreddare. Le caldaie a gas singole o centralizzate, che oltre a riscaldare gli edifici riscaldano anche l'acqua sanitaria, sono comunque i sistemi più efficienti, specie se abbinati ad uno scaldacqua solare (collettori solari). Consumo annuo di uno scaldabagno elettrico di 80 litri: 1000 kWh.

Frigorifero e congelatore: è importante calibrare bene il volume del frigorifero o del frigorifero e del congelatore separato secondo l'uso quotidiano, oltre che curare la manutenzione (guarnizioni, brina, serpentina del condensatore) per il risparmio energetico. I frigoriferi no-frost, cioè con ventilatore interno impediscono la formazione di brina per cui il risparmio energetico ottenuto compensa ampiamente l'energia spesa per il funzionamento del ventilatore. Consumo annuo di un frigorifero di 200 litri, simile al consumo di un congelatore della stessa capienza: 360 kWh.

Lavatrice: i modelli più recenti utilizzano meno acqua e di conseguenza minore energia elettrica per riscaldarla. Il consumo dipende largamente dalla quantità dell'acqua e dalla temperatura di lavaggio; un

lavaggio a 90° consuma circa il doppio di energia e di detersivo che a 40° , e di una volta e mezza che a 60°. Molto utili sono quindi i metodi di preriscaldamento dell'acqua come semplicemente l'attacco all'acqua calda. Consumo per un ciclo di lavaggio a 90°: 150 litri di acqua, 3 kWh, 150 g di detersivo.

Lavastoviglie: i modelli recenti consentono risparmi del 30% di detersivo ed energia elettrica (circa L. 350 a lavaggio). Anche in questo caso buona parte dell'energia utilizzata serve al riscaldamento dell'acqua secondo la temperatura prescelta. Consumo per un ciclo di lavaggio a 65°: 2 kWh e 20-30 g di detersivo.

Forno: per i forni elettrici così come per le cucine elettriche valgono le stesse considerazioni dello scaldabagno elettrico, per cui si utilizza energia pregiata per riscaldare, e questo è un controsenso energetico. Esiste comunque una differenza di consumo tra il forno normale e il forno a microonde. Un forno elettrico consuma circa 1,5 kWh per una cottura di 1 ora, mentre un forno a microonde consuma almeno la metà per la stessa cottura.

Condizionatore: il consumo di energia è molto elevato rispetto agli altri elettrodomestici. Una giornata calda fa consumare 15 kWh ad un condizionatore di 1,5 kW di potenza (3.800 L. al giorno). Sempre le pompe di calore possono risparmiare molta energia, anche per il rinfrescamento dell'aria.

Pompa di calore

La pompa di calore è una macchina in grado di trasferire calore da un ambiente a temperatura più bassa ad un altro a temperatura più alta e opera con lo stesso principio del frigorifero. E' costituita da un circuito chiuso percorso da uno speciale fluido (frigorigeno) che, a seconda delle condizioni di temperatura e pressione in cui si trova, assume lo stato di liquido o di vapore.

Il circuito è composto da:

un compressore (motore) che comprime il gas aumentandone la temperatura un condensatore nel quale il gas caldo cede calore al pozzo caldo (acqua per il trasporto o aria) e condensa diventando liquido.

nella valvola di espansione il liquido si raffredda diminuendo la pressione nell'evaporatore il liquido acquisisce calore dalla fonte di calore (sorgente fredda come aria o acqua) ed evapora.

Il vantaggio nell'uso della pompa di calore deriva dalla sua capacità di fornire più energia (in forma di calore) di quella elettrica impiegata nel compressore in quanto estrae calore dall'ambiente esterno. Il coefficiente di prestazione (C.O.P.) è appunto il rapporto tra energia ottenuta ed energia elettrica consumata ed è in genere circa 3. Le pompe di calore si distinguono in base alla sorgente fredda (aria, acqua, terra) e al pozzo

caldo (acqua o aria) .

Le applicazioni della pompa di calore sono: la climatizzazione degli ambienti è vantaggiosa perché sostituisce due impianti (caldaia + refrigeratore), infatti è possibile con una valvola invertire il condensatore con l'evaporatore (tipo invertibile); riscaldamento con tipo monovalente se la temperatura esterna scende raramente sotto 0° o bivalente se è necessario integrare con un impianto tradizionale; riscaldamento dell'acqua sanitaria.

Inoltre l'installazione può essere monoblocco se tutti i componenti sono raggruppati o Split se la parte più rumorosa (compressore e scambiatore di calore) è separata dall'unità interna. Il costo dell'impianto è più elevato rispetto agli impianti di riscaldamento o climatizzazione tradizionali, ma il risparmio può essere del 20-30%.

3.3 Risparmio dell'energia termica negli edifici

Un grandissimo risparmio energetico si può ottenere nell'edilizia sull'energia spesa nel riscaldamento degli edifici. La dispersione di calore dalle pareti, dalle finestre, dal tetto determina l'energia necessaria per il mantenimento di una data temperatura (18°) all'interno della casa quando fuori la temperatura è inferiore. Una progettazione o una ristrutturazione interna o più semplicemente una serie di accorgimenti attenti in una casa possono arrivare a diminuire notevolmente l'energia richiesta.

ENERGIA NELLE CASE TRADIZIONALI IN kWh IN UN ANNO

Entrata

- passivo solare (6.650)
- calore degli abitanti + calore per illuminazione (2.000)
- calore da riscaldamento (20.000, 80% del calore prodotto)

Dispersione

- aria fresca (5.850)
- finestre, porte (8.950)
- pavimento (1.550)
- pareti (6.850)
- tetto (1.750)
- uscita dal camino (4.000)

ENERGIA NELLE CASE A BASSO CONSUMO

Entrata

- passivo solare (6.650)
- calore degli abitanti + calore per illuminazione (1.950)
- calore da riscaldamento (6.000, 92% del calore prodotto)

Dispersione

- aria fresca (5.850)
- finestre, porte (5.150)
- pavimento (850)
- pareti (2.000)
- tetto (900)
- uscita dal camino (480)

Due sono i metodi per il risparmio energetico:

solare passivo: l'apporto del sole per il riscaldamento attraverso vetri e pareti di accumulo del calore.

isolamento: materiali ad alto coefficiente di isolamento (bassa conduzione termica).

Solare passivo

Chiamato passivo in quanto non necessita di impianti per il trasporto del calore (come ad esempio i pannelli solari).

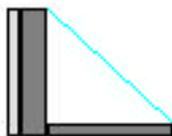
Si basa su due elementi costruttivi:

_una parete vetrata a sud per la captazione del sole

_una massa termica ad alta capacità termica per l'assorbimento, l'accumulo e successiva distribuzione del calore

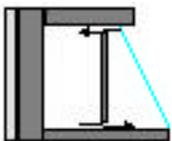
Si distinguono due metodi:

- a **guadagno diretto**



Vetratura a sud e massa termica sul pavimento e sulle pareti sufficienti ad assorbire e accumulare calore.

- a **guadagno indiretto**



La massa termica è frapposta tra il sole e l'abitato. La trasmissione di calore avviene per convezione e per irraggiamento della parete.

Isolamento

Per ogni componente della costruzione è possibile valutare la conduttività totale e quindi aumentare l'isolamento agendo sui materiali da costruzione.

La tabella seguente indica la conduttività di una parete per vari materiali

Materiale	Calore Specifico	Peso Specifico	Capacità Termica	Conduttività
Acqua	4,1	1000	4100	
Legno	2,3	750	1790	0,1
Poliuretano espanso	1,6	24	38	0,022
Lana	1,3	110	147	0,033
Aria	1	1,2	1,2	
Mattoni	0,8	2000	1680	
Calcestruzzo	0,6	2300	1500	
Acciaio	0,5	7850	3950	39
Argilla		1780		0,8
Isoflock		56		0,035
Fibra vetro		15-110		0,03
Compensato		545		0,1
Sughero		150		0,03
		36		

E' necessario tenere conto comunque di alcune considerazioni: l'isolamento rallenta la dispersione all'esterno del calore interno e viceversa quando la trasmissione di calore avviene prevalentemente per conduzione. Se c'è convezione (movimento di aria, come spifferi e circolazioni) l'isolamento non serve a molto.

Se una casa è bene isolata ma non traspira e non ci sono perdite o scambi di aria è necessario garantire un ricambio di aria con altri metodi. Materiali a conduzione diversa affiancati creano delle condizioni complesse di conduzione e soprattutto un salto di traspirazione dell'umidità e dell'aria. E' necessario perciò valutare attentamente l'affiancamento per non avere problemi nella costruzione (come le barriere di umidità).

3.4 Cogenerazione

La cogenerazione, cioè la generazione combinata di elettricità e calore è tra i sistemi di risparmio energetico più interessanti sia per quanto riguarda le aziende energetiche municipali (fabbisogno elettrico e teleriscaldamento), sia per sistemi di produzione e utilizzo diffuso di energia (auto-produzione industriale o civile di elettricità e calore o climatizzazione).

I flussi energetici seguenti riguardano un impianto di cogenerazione di elettricità, calore e freddo in un edificio (una filiale di una banca).

Nel caso dei sistemi di cogenerazione associati a climatizzazione (HVAC) per il terziario, la centrale di cogenerazione, per potenze inferiori a 1000 kW, sarà equipaggiata con motori alternativi (a ciclo Otto o Diesel) con rendimenti elettrici di 30-35% e rendimento termico di 50%; nel caso invece di generazione con turbogas della stessa taglia l'efficienza globale è dell'ordine del 70%. Nel caso di centrali di cogenerazione dedicate ad impianti di climatizzazione la migliore efficienza energetica viene raggiunta quando è possibile utilizzare, oltre all'energia termica recuperata per via diretta, l'intera produzione elettrica per la produzione di calore e/o freddo. In tal caso infatti si determinerebbe la conversione energetica dell'energia elettrica con un C.O.P. mediamente stimabile intorno a 3,5 e ottenendo un'efficienza globale di 155-170% (calore) e 140-155% (freddo) da confrontare con un'efficienza del 166% di una pompa di calore elettrica a compressione reversibile.

La cogenerazione diffusa con turbine a gas e in futuro con celle a combustione hanno il vantaggio di ingombri ridotti, ridotto impatto ambientale (nullo nel caso delle celle a combustione), eliminazione perdite di distribuzione dell'energia elettrica, un'elevata efficienza di utilizzo del combustibile. La cogenerazione con teleriscaldamento nelle aree del terziario può inoltre dare dei vantaggi di gestione e razionalizzazione degli impianti negli edifici.

Nell'esempio dell'impianto di cogenerazione e teleriscaldamento dell'area Bicocca di Milano, che coprirà 1.460.000 m³ di riscaldamento e 720.000 m³ di raffreddamento, la potenza elettrica è di 10 MW con un risparmio energetico globale rispetto agli impianti preesistenti del 15% (corrispondenti a 1400 TEP/anno). In base ai parametri della legge 10 si calcola il rendimento delle caldaie installate negli edifici di 85% e il rendimento elettrico di una centrale convenzionale di 37,4%. Nell'impianto Bicocca il rendimento elettrico è 27,1% e il fattore di utilizzo del combustibile (rendimento globale) di 70%. Inoltre le emissioni risultano molto minori rispetto ad un impianto tradizionale.

Le configurazioni delle centrali di produzione con teleriscaldamento in Italia si suddividono:

Centrali di cogenerazione con turbina a vapore

(Brescia, Reggio Emilia)

Centrali di cogenerazione con turbina a gas

(Imola, Roma)

Centrali di cogenerazione con celle a combustione

(Milano)

- Centrali di cogenerazione con motori alternativi tipo diesel e ciclo otto a gas (Brescia, Mantova, Reggio Emilia, Rovereto, Torino, Verona, Vicenza, Bagno di Romagna)

- Centrali di cogenerazione con pompa di calore (Reggio Emilia, Vicenza, Bagno di Romagna)

- Centrali a vapore geotermico (Castel Nuovo Val di Cecina, Vicenza, Acqui Terme)

I motori alternativi hanno trovato applicazione negli impianti di dimensione ridotta e a ridosso dell'area urbana dato il basso impatto urbanistico e ambientale (uso del metano come combustibile); gli impianti a turbine sono invece più indicati per dimensioni medio-grosse con ampie aree di teleriscaldamento, specie nel caso sia possibile utilizzare varie fonti energetiche (centrale policombustibile di Brescia).

Dal punto di vista del problema energetico (ad esempio in Europa) un grande contributo in futuro verrà certamente dalla cogenerazione: un risparmio energetico che si aggira sul 35% e una minore emissione di anidride carbonica oltre al minor costo energetico sono le caratteristiche decisive. La produzione di elettricità con cogenerazione in Europa può passare dal 6% attuale al 30% così come succede in Danimarca.

3.5 Integrazione di fonti energetiche diverse

Come si è visto sia nel risparmio energetico che nell'utilizzo di fonti rinnovabili il nodo fondamentale, prima dell'efficienza dei componenti del sistema è l'integrazione: integrazione di fonti differenti, specie se si utilizzano fonti rinnovabili, e integrazione dei diversi utilizzi dell'energia, come nel caso dell'integrazione di richiesta termica ed elettrica. L'attenzione sui sistemi integrati può portare a elevati risparmi energetici attraverso sistemi di controllo che non richiedono molta energia, ma che possono essere molto sofisticati.

Allo stesso modo tenere conto di tutte le potenzialità energetiche di un processo può portare ad un'alta efficienza energetica del sistema, considerata nel suo complesso, oltre alla cogenerazione, un ottimo esempio di queste potenzialità (che è dato dal processo di distillazione che produce energia elettrica, combustibile, acido pirolegnoso, catrame in un'ottica ecologica di chiusura dei cicli).

L'ambito agricolo è particolarmente indicato per esemplificare il concetto di integrazione a causa della varietà di forme energetiche utilizzabili concentrate nello stesso luogo. Nell'esempio il ciclo tende a chiudersi e ad essere autosufficiente. Le sorgenti energetiche sono di tre tipi: la fermentazione per produrre gas, l'energia solare, l'energia eolica. Il biogas va all'accumulatore ad alta pressione e viene utilizzato come energia meccanica mobile. La gestione delle necessità energetiche viene realizzata attraverso un gruppo costituito da pompa di calore e un sistema total-energy di cogenerazione modulabile secondo le esigenze del momento. Il gruppo è collegato alle altre fonti e forma nel complesso un sistema integrato che può essere regolato automaticamente attraverso un sistema di controllo.

3.6 I rifiuti come fonte di energia

E' possibile utilizzare i rifiuti per produrre energia; per utilizzare correttamente l'energia contenuta nei rifiuti non riciclabili è necessario: ricevere rifiuti selezionati, oppure selezionare i rifiuti preparare una miscela a caratteristiche costanti e definite controllare la miscela utilizzarla in impianti idonei come Combustibili Non Convenzionali (CNC: non carbone petrolio legna gas naturale)

Le modalità di utilizzo dipendono dalla tipologia dei rifiuti e possono essere:

- Utilizzo di CNC ottenuti dai rifiuti, consistenti in miscele omogenee di rifiuti solidi macinati e deodorizzati o di rifiuti fluidi. I CNC possono essere utilizzati direttamente in alcuni impianti industriali come le cementerie o in apposite centrali termiche, oppure in parte trasformati in combustibili simili a quelli convenzionali mediante un processo chiamato pirolisi.

- Utilizzo di biogas ottenuto dai rifiuti mediante fermentazione
- Termodistruzione in appositi impianti che non hanno solo lo scopo di produrre energia, ma anche di distruggere i rifiuti non biodegradabili a base organica.

Cementeria funzionante anche con CNC

La cementeria è un impianto particolarmente idoneo ad utilizzare CNC per i seguenti motivi:

- utilizza combustibili convenzionali come carbone e nafta passante, più problematici sotto l'aspetto delle emissioni, rispetto ai CNC
- gli impianti per la produzione di cemento sono semplici e relativamente poco influenzati dal combustibile utilizzato
- i prodotti acidi della combustione vengono neutralizzati dal contatto con la calce contenuta nei forni
- le polveri vengono trattenute dai filtri, che nelle moderne cementerie sono molto efficienti.

La cementeria può essere pertanto dotata di appositi bruciatori che utilizzano CNC.

Centrale termica

Le centrali termiche per la produzione di energia elettrica, a differenza delle cementerie, sono impianti progettati per utilizzare specifici combustibili.

Non è quindi possibile utilizzare CNC in una centrale termica convenzionale, ma è necessario disegnare un impianto apposito.

A differenza degli inceneritori urbani, che ricevono rifiuti di composizione imprevedibile e discontinua, le centrali a CNC utilizzano miscele controllate di rifiuti, che permettono una combustione costante ed un elevato recupero energetico.

Molti componenti dei rifiuti urbani possono essere utilizzati per produrre CNC alimentabili in questo tipo di impianto.

Biogas

Alcuni rifiuti a base organica contengono molta acqua che abbassa il loro contenuto calorico, poiché una parte dell'energia che si ottiene dalla combustione viene consumata dalla evaporazione dell'acqua.

Per questo motivo non possono essere miscelati con altri rifiuti per la produzione di CNC.

Quando i materiali organici, di cui sono composti questi rifiuti, sono biodegradabili è possibile ottenere metano per fermentazione in assenza di aria.

La fermentazione è un processo in cui alcuni microrganismi, che operano preferibilmente a una temperatura di circa 30° C, vivono trasformando alcune sostanze organiche in metano.

Il metano così prodotto può essere utilizzato come combustibile.

L'acqua e gli altri residui di fermentazione, che contengono elementi fertilizzanti, possono essere recuperati in agricoltura.

Inceneritore

Alcuni rifiuti industriali a base organica, che non sono biodegradabili e che non possono essere riciclati o recuperati come CNC, non sono riciclabili nel ciclo biologico naturale.

La termodistruzione avviene in installazioni, attrezzate per garantire emissioni particolarmente pulite, che non hanno solo lo scopo di recuperare energia, ma anche quello di eliminare dalla biosfera i materiali non biodegradabili e dannosi per l'ambiente.

E' necessario miscelare e controllare i rifiuti in modo da ottenere una combustione controllata e costante.

La combustione trasforma la sostanza organica in anidride carbonica e acqua, producendo una quantità relativamente piccola di rifiuti e liberando energia. La combustione è corretta quando si recupera il maggior quantitativo di energia e si immettono nell'ambiente solo acqua ed anidride carbonica, riciclabili nei processi naturali della biosfera.

I rifiuti di combustione, diversi dall'acqua e dall'anidride carbonica (ceneri pesanti, volanti gas acidi e altri inquinanti) devono perciò essere completamente separati dalle emissioni ed adeguatamente smaltiti. Per questo motivo i moderni impianti sono dotati di efficienti sistemi di depurazione dei gas di combustione, che garantiscono la riduzione della concentrazione degli inquinanti sotto i limiti fissati per legge.

GLOSSARIO

ENERGIA

L'energia è la capacità di produrre lavoro vincendo una resistenza. Non si identifica con i corpi (solidi, liquidi, gassosi), che possono invece essere chiamati fonti energetiche.

CALORE

Energia trasferita attraverso un processo termico.

FONTE ENERGETICA

I corpi di volume e massa misurabili in grado di produrre energia.

Suddivisione secondo il criterio della trasformazione energetica...

Combustibili: fonti riferite all'energia liberata dalla combustione

Nucleare: energia liberata da reazioni atomiche

Radiazione solare: energia radiante proveniente direttamente dal sole

Geotermica: calore endogeno della terra

Potenziale: energia posizionale come ad esempio quella idraulica

Cinetica: energia dovuta al moto di certe masse (aria, correnti marine, maree)

Fonti energetiche rinnovabili: tutte le fonti che non si estraggono dal sottosuolo (carbone, petrolio, gas naturale, uranio)

COMBUSTIONE

Reazione chimica in cui l'O₂ (comburente) reagisce (brucia) con sostanze contenenti carbonio (combustibili) dando luogo a prodotti di combustione che raggiungono elevate temperature. L'allontanamento del calore prodotto costituisce la fase utile della trasformazione.

POTERE CALORIFICO

Tutta l'energia prodotta nella combustione è detta potere calorifico superiore (p.c.s.). Sottraendo l'energia conferita al prodotto di combustione (ad esempio acqua se prodotta) si ottiene il potere calorifico inferiore (p.c.i.), che è quello che si può cercare di utilizzare, cioè è l'energia liberata dalla combustione.

POTENZA

Rapporto tra l'energia e il tempo.

UNITA' di misura del Sistema Internazionale (SI)

Energia: Joule (J)

kcal= calore per elevare di un grado (14,5°-15,5°) la temperatura di 1Kg di acqua alla pressione di 1 atmosfera (=1013 mbar)

Tep (Tonnellate equivalenti di petrolio) = 10.000.000 kcal (1kg di petrolio circa 10.000 kcal; 1 kg di olio circa 10.000 kcal di p.c.i.)

Barile di petrolio = 159 litri

Potenza: Watt (W)

1kWh=860 kcal

1cal=4,184 J

PREZZO dell'energia per i combustibili

attraverso il p.c.i. è possibile assegnare a una fonte energetica (combustibile) il peso necessario per 1kwh di p.c.i.

VEICOLI ENERGETICI

Trasportano l'energia originata da una trasformazione di una fonte energetica come il vapore acqueo in una centrale a vapore o l'energia elettrica.

MATERIA

qualunque cosa dotata di massa

ENERGIA UTILE

energia primaria: energia che viene mobilitata per soddisfare uno specifico bisogno

energia degli usi primari: energia che arriva all'utilizzatore

energia utile: energia che si traduce effettivamente nello scopo assegnato dall'utilizzatore.

efficienza finale: rapporto tra energia utile e energia primaria

EFFICIENZA

l'efficienza energetica di un qualunque sistema è definita come il rapporto tra l'energia utile (U) in uscita dal sistema e l'energia totale entrante (E). L'energia dispersa (D) del sistema è la differenza tra le due energie.

$$E=U+D \quad \text{efficienza} = U/E$$

RENDIMENTO di una macchina termica

Il rendimento di una macchina termica con due sorgenti di calore ($T_1 < T_2$) e il cui lavoro prodotto $L=Q_2-Q_1$

$$h\delta = \delta L / Q_2$$

e corrisponde al concetto di efficienza del sistema in cui l'energia utile è L e l'energia entrante è Q_2 . Il rendimento massimo è quello del ciclo di Carnot $h\delta = \delta(\delta T_2 - T_1) / T_2$

SISTEMA ISOLATO

Un sistema senza scambi di massa o energia con l'esterno

CAPACITA' TERMICA

è la quantità di calore necessaria a produrre un aumento unitario di temperatura (un grado).

$$C = dQ / dT$$

CALORE SPECIFICO

il calore specifico è il calore assorbito da un grammo di sostanza per produrre una variazione unitaria di temperatura (un grado) e corrisponde alla capacità termica per unità di peso.

$$c = (dQ / dT) / m = C / m$$

il calore specifico molecolare viene invece definito per unità di peso molecolare (mole)

$$c = (dQ / dT) / n$$

il calore specifico dipende dalla trasformazione per cui si usano solitamente c_v (calore specifico a volume costante) e c_p (calore specifico a pressione costante)

G.P.L.

Gas Petroleum Liquified, miscela di propano e butano.

PILA A COMBUSTIONE

dispositivo che utilizza una reazione chimica per produrre direttamente energia elettrica. Si possono usare, come reagenti, Ossigeno e Idrogeno, ottenendo in tal caso energia elettrica e acqua come prodotto della reazione.

PIROLISI

trasformazione dei composti e dei materiali organici in prodotti più semplici per mezzo della temperatura.

POMPA DI CALORE

macchina frigorifera che preleva da un sistema (teoricamente da un termostato di capacità termica illimitata) una certa quantità di calore ad una certa temperatura e lo cede ad un altro sistema a temperatura più alta, insieme all'equivalente del lavoro impiegato.

SCAMBIATORE DI CALORE

apparecchio per trasferire energia termica da un mezzo ad una data temperatura ad un altro mezzo a temperatura inferiore.

BIBLIOGRAFIA

Libri

- “Che cos'è l'energia, uso consumo risparmio” Regione Lombardia
“Physica” Caforio, Ferilli vol 1-2 per licei scientifici
“Elementi di fisica per l'università Vol 1 - Meccanica e Termodinamica”
Alonso-Finn
“Problemi di termodinamica tecnica e di trasmissione del calore”
Guglielmini-Nannei-Pisoni
“Fondamenti di termodinamica per ingegneri” vol 1 Zemansky
“Energia e territorio” quaderni dell'ambiente n.1 '81 Livorno
“Raccolta di articoli sull'energia e l'ambiente” Regione Lombardia '88
“Energie rinnovabili - impieghi su piccola scala” quaderni Cosv sulle
tecnologie appropriate a cura del CAST '83
“Appropriate technologies Sourcebook I,II” Ken Darrow, Rick Pam VIA
'81 (inglese)
“European directory of renewable Energy supplies and services” 1992
(inglese)
“Energias libres I-II” ed. Ecotopia (spagnolo)
“Impieghi dell'energia solare” A. Robotti '83
“Efficient solar thermal system in buildings” atti convegno FAST Torino
'92 (inglese e italiano)
“La conversione fototermica dell'energia solare” A. Barra '81
“Hydroenergia '95” convegno internazionale FAST (italiano e inglese)
“Costruzione di una turbina Michell-Banki” quaderni Cosv sulle tecno-
logie appropriate a cura del CAST '83
“Costruzione di una ruota idraulica” quaderni Cosv sulle tecnologie
appropriate a cura del CAST '83
“Installazione di una micro-pelton” quaderni Cosv sulle tecnologie
appropriate a cura del CAST '83
“Elettricità dal vento - installazione di un MP5” quaderni Cosv sulle
tecnologie appropriate a cura del CAST '83
“Pompare acqua con il vento” quaderni Cosv sulle tecnologie approp-
riate a cura del CAST '83
“Biowatt: nuove tecnologie per la produzione di energia elettrica da bio-
massa” FAST '93
“Biogas plant” Folkecenter '93 (inglese)
“Monitoring of biogas production” Winsdom Ahiataku Folkecenter '93
(inglese)
“Risparmi energetici nella piccola e media impresa” giornata di studio
FAST '79
“Interventi di razionalizzazione energetica nell'industria e nel terziario”
ENEA '91

“Le tecnologie per il riscaldamento, la ventilazione ed il condizionamento dell’aria in edifici non residenziali” Workshop FAST ‘95
 “Cogenerazione e teleriscaldamento - aspetti termodinamici ed economici” Macchi-Pellò-Sacchi ed. Clup
 “La caldaia policombustibile per il teleriscaldamento di Brescia” ASM Brescia ‘87
 “Influenza del costo del combustibile (energia primaria) sul risultato economico della cogenerazione civile” SEP pollution città e ambiente Fiera di Padova ‘90
 “Relazioni energia-ambiente-sicurezza. Ipunti critici delle varie fonti energetiche: il metano” FAST
 “Natural gas as fuel in public transport vehicles” seminario europeo Milano ‘92 FAST (inglese-italiano)
 “Improved technologies for the rational use of energy in the non-ferrous metal industry in Europe” seminario europeo Milano ‘92 FAST (inglese)
 “Efficient energy recovery from heat emissions in textile industry” workshop ‘92 FAST (inglese)
 “Architectura e Natura” Catalogo Mazzotta ‘94
 “La casa autonoma” B. e R. Vale ed- Muzzio ‘84
 “La casa bioecologica” Lotz AAM terra nuova ‘91
 “Sistemi Solari Passivi” Edward Mazria franco muzzio &c. ‘80
 “Bilanci energetici di ecosistemi” AISI L. Dussi ‘91
 “Per una società ecologica” M. Bookchin Eleuthera ‘89
 “Progettare secondo Natura” N.J. e J. Todd ed. Eleuthera ‘89
 “Ibridazione Tecnologica” G. Ceragioli e G. Cattai FOCSIV ‘85
 “Energia dolce - una scelta coerente per il futuro” A. Lovins ‘79
 “Le fonti energetiche rinnovabili nel mercato europeo” atti convegno Milano ‘96, FAST
 “I rapporti sull’energia della provincia di Milano” relazione di sintesi, ‘96 Provincia di Milano

Riviste

“Risparmio energetico - notiziario dell’ENEA” bimestrale
 “Le scienze” mensile. Energia per il pianeta terra numero speciale 267 ‘90
 “Ambiente Risorse Salute” mensile. n.98
 “Tecnologie appropriate - per dire... tra la gente “ bimestrale GRITA-CIN
 “Hi-tech Ambiente”
 “La termotecnica-ricerche tecnologie impianti”
 “Les quatre saisons” (francese)
 “Eurosolar news” Eurosolar Italia
 “Science for Villages” Centre of Science for Villages, Wardha (inglese)
 “Journal of the New Alchemists” New Alchemy Institute (inglese)

Opuscoli

- “Casa dell’energia” seminari e visita
 - “Elettricità, Gas, Sicurezza” Aem - IMQ
 - “Centre terre vivante” centro ecologico europeo
 - “Seminario teorico-pratico di Granara” villaggio ecologico di Granara ‘94”
 - “Legge 10 9-1-91” ENEA
 - “1- Risparmio energetico nella casa” ENEA
 - “4- Risparmio energetico negli edifici - la pompa di calore” ENEA
 - “6- Risparmio energetico con l’automobile” ENEA
 - “Energia domani” Regione Lombardia ‘83
 - “Progetto ambiente” ENEL
 - “Consumo intelligente, una nuova fonte di energia - 1 Illuminazione domestica”ENEL ‘96
 - “Consumo intelligente, una nuova fonte di energia - 2 Gli elettrodomestici”ENEL ‘96
 - “1 Elettricità nella casa”ENEL ‘80
 - “6 Illuminazione dei negozi e degli uffici”ENEL ‘80
 - “7 Il motore trifase”ENEL ‘80
 - “8 Risparmio energetico nel settore industriale”ENEL ‘80
 - “9-10 Il rifasamento”ENEL ‘80
 - “11 Il trasformatore”ENEL ‘80
 - “12 Acqua calda dal sole”ENEL ‘80
 - “13 Illuminazione nelle industrie”ENEL ‘80
 - “14 Risparmio energetico nel settore alberghiero”ENEL ‘80
 - “15 La pompa di calore”ENEL ‘80
 - “16 Isolamento termico degli edifici”ENEL ‘80
 - “Diagrammi, disegni e cataloghi di turbine idrauliche”
 - “The several uses of low temperature geothermal energy for heating”
- FAST

Enti

- FAST: Federazione delle associazioni scientifiche e tecniche. P.le Morandi, 2 20121 - Milano tel 02/76015672
- OPET Network: Organization for the Promotion of Energy Technologies
- ENEL: Ente Nazionale per l’Energia Elettrica
- ENEA: Ente per le Nuove tecnologie per l’Energia e l’Ambiente

FINE