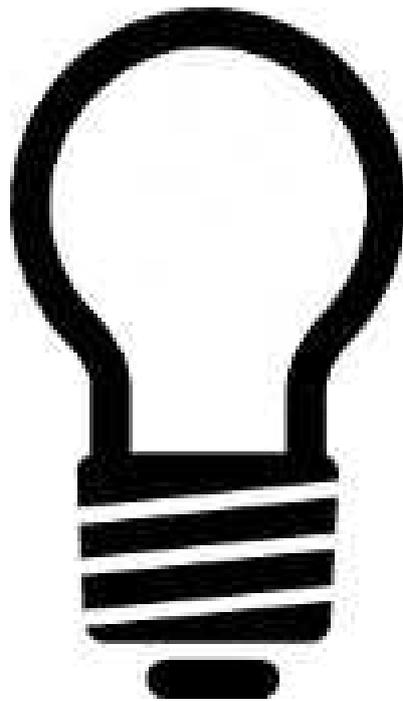


*Corso di Tecnologia
per la
Scuola Secondaria di I grado
Prof. Pierangelo Monni*

L' Energia



Indice generale

Introduzione.....	3
Il turbocompressore.....	5
Il motore a turbina.....	6
Il turboreattore.....	8
La macchina a vapore.....	12
L'Energia e le sue forme.....	13
Manifestazione delle diverse forme di energia.....	14
Trasmissione dell'energia termica.....	15
Energia e potenza.....	16
Il rendimento delle trasformazioni energetiche.....	17
I combustibili fossili.....	20
Origine e composizione dei combustibili fossili.....	20
Perchè i combustibili fossili non sono sostenibili: l'effetto serra.....	21
Distillazione frazionata del petrolio greggio.....	24
Geoprospezione petrolifera.....	25
Estrazione del gas di scisto (shale gas).....	26
Le centrali elettriche a combustibili fossili.....	27
La centrale turbogas.....	27
La centrale termoelettrica tradizionale.....	28
La centrale termoelettrica a ciclo combinato.....	30
Tensione e Corrente elettrica.....	33
Simulatore di circuiti elettrici.....	35
Paragone tra circuito elettrico e pista di biglie in discesa con ascensore.....	36
Paragone tra circuito elettrico e circuito idraulico.....	37
Potenza elettrica.....	38
Rete di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica.....	39
Energia nucleare.....	41
La centrale nucleare.....	49
Incidenti nucleari.....	50
Scorie nucleari.....	52
Energia idroelettrica.....	53
Energia solare.....	54
Pannelli solari termici.....	54
Pannelli solari fotovoltaici.....	55
Centrale solare termodinamica a sali fusi.....	56

Elenco versioni:

- 4.0 - Modificato e ampliato paragrafo a pag. 20 e seguenti su combustibili fossili ed effetto serra.
- 4.1 - Aggiunta trasmissione del calore a pag. 13.
- 4.2 - Cambiato l'ordine delle pagg. da 17 a 26; aggiunto schema del rendimento a pag.15; aggiunto schema distillazione frazionata a pag. 22.
- 4.3 - Aggiunto schema a pag. 4; aggiunto schema del rendimento a pag.29; aggiunto schemi a pag. 30.
- 4.4 - Aggiunti pannelli solari termici e fotovoltaici.
- 4.5 - Riordinata la parte della centrale a ciclo combinato.

Introduzione

Con questa dispensa, dopo la precedente dedicata ai motori a combustione interna, prosegue la trattazione sull'**energia** e sulle **macchine** che operano **trasformazioni** di **energia**; l'intento è percorrere un **filo logico** che, snodandosi con continuità, comprenda le **macchine** e le **fonti di energia** usate nel **passato** (macchina a vapore e carbone), le macchine e le fonti di energia che fanno parte del nostro **presente**, con i loro **vantaggi**, **svantaggi** e **rischi** (centrali termoelettriche, centrali nucleari, centrali idroelettriche, rete elettrica; combustibili fossili: petrolio e gas naturale, uranio) ed infine le macchine e fonti di energia che potrebbero rappresentare il nostro **futuro**, consentendoci finalmente di **abbandonare i combustibili fossili** (centrali solari a concentrazione a sali fusi, energia solare e altre energie rinnovabili).

macchina a vapore
carbone

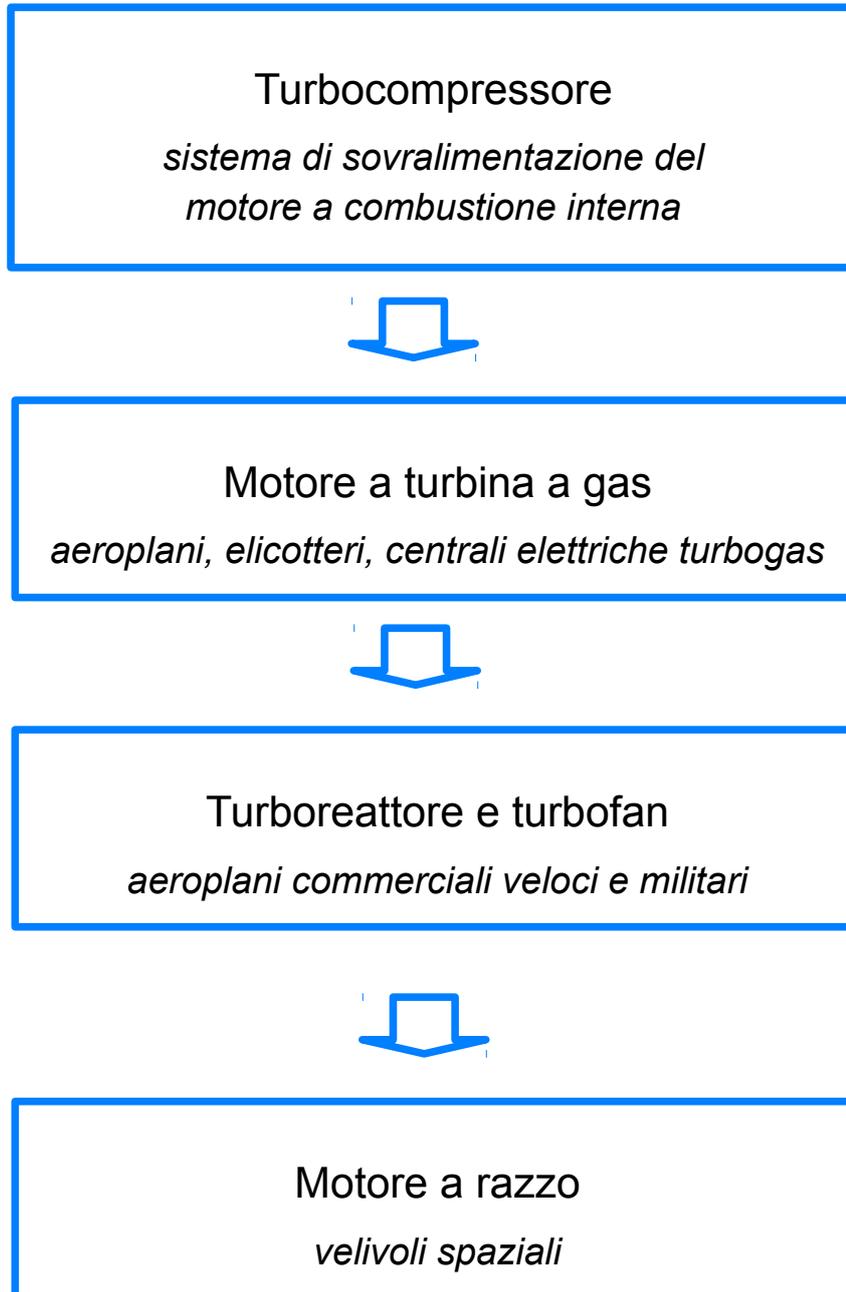


centrali termoelettriche, centrali nucleari, centrali
idroelettriche, rete elettrica
combustibili fossili: petrolio e gas naturale; uranio



centrali eoliche, *centrali idroelettriche*, centrali solari
a concentrazione a sali fusi
energia solare e altre energie rinnovabili

In questa prima parte della dispensa **seguiremo** il seguente **filo logico**:

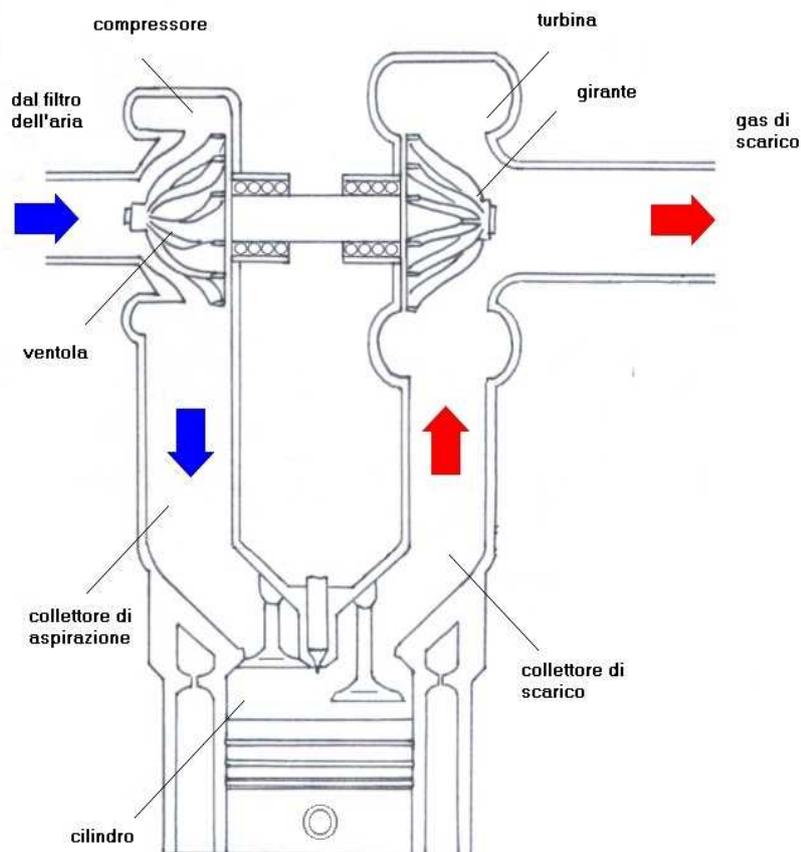


Il turbocompressore

Riprendiamo la trattazione dal **motore a combustione interna**: prima esaminiamo il **dispositivo di sovralimentazione** detto **turbocompressore**; mostreremo poi che da questo sistema si passa facilmente al motore a **turbina a gas**.

Turbocompressore applicato al motore a combustione interna

Il turbocompressore è un sistema di **sovralimentazione** che **aumenta la potenza** prodotta dal motore a combustione interna (motore a pistoni). È costituito da un **compressore** e da una **turbina** calettati sullo stesso asse.



Il **compressore** è un particolare ventilatore, che **comprime** l'aria in ingresso al motore e la invia al condotto di aspirazione; in questo modo **nel cilindro entrano più aria e più combustibile**, quindi **il motore funziona come se avesse una cilindrata maggiore**, ma senza l'aumento di peso.

I gas combusti che escono dal collettore di scarico passano nella **turbina**. Questa funziona come una girandola, fatta di metallo e con molte pale: il flusso di gas attraversandola spinge le palette (che si muovono: forza x spostamento = energia meccanica) e la fa girare.

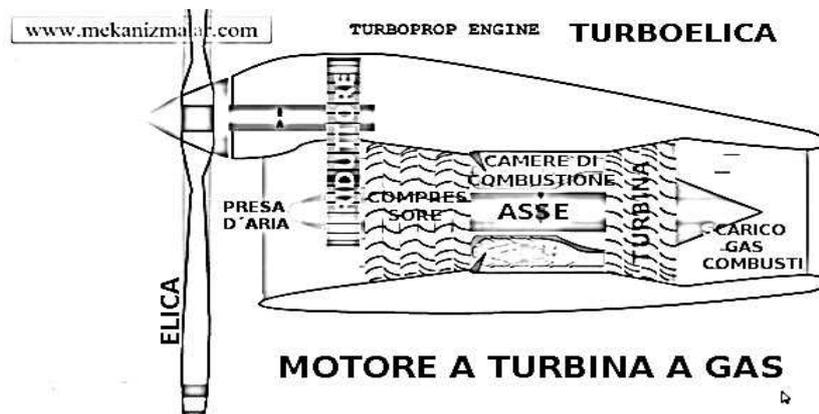
La turbina estrae energia dai gas combusti e la converte in energia meccanica; questa energia meccanica viene trasferita al compressore e lo aziona.

Notare che nella turbina i gas combusti subiscono una espansione, producendo del lavoro meccanico, proprio come succedeva nella fase 3 (scoppio-espansione) del motore a combustione interna.

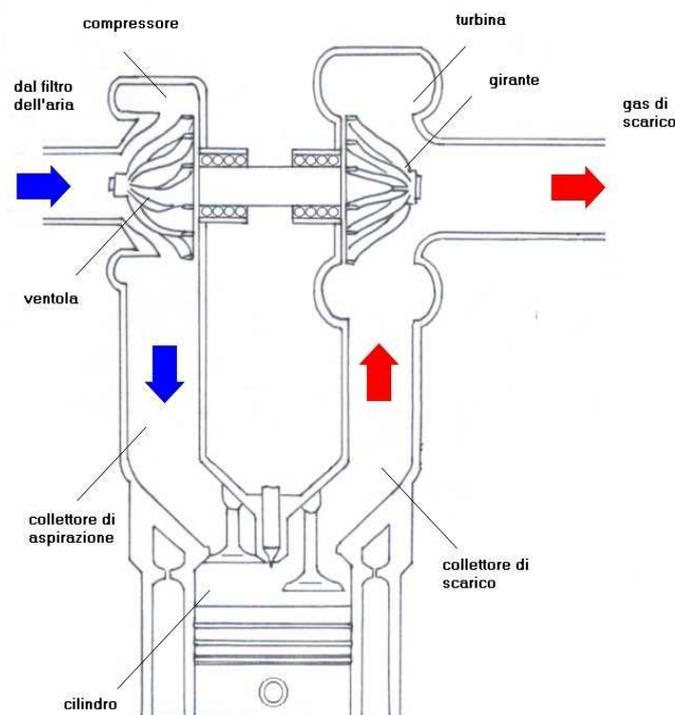
Il turbocompressore è nato per applicazioni aeronautiche (compensa la diminuzione della pressione atmosferica con la quota); aumenta la potenza a parità di cilindrata (e perciò a parità di peso) quindi è oggi molto usato sui Diesel.

Il motore a turbina

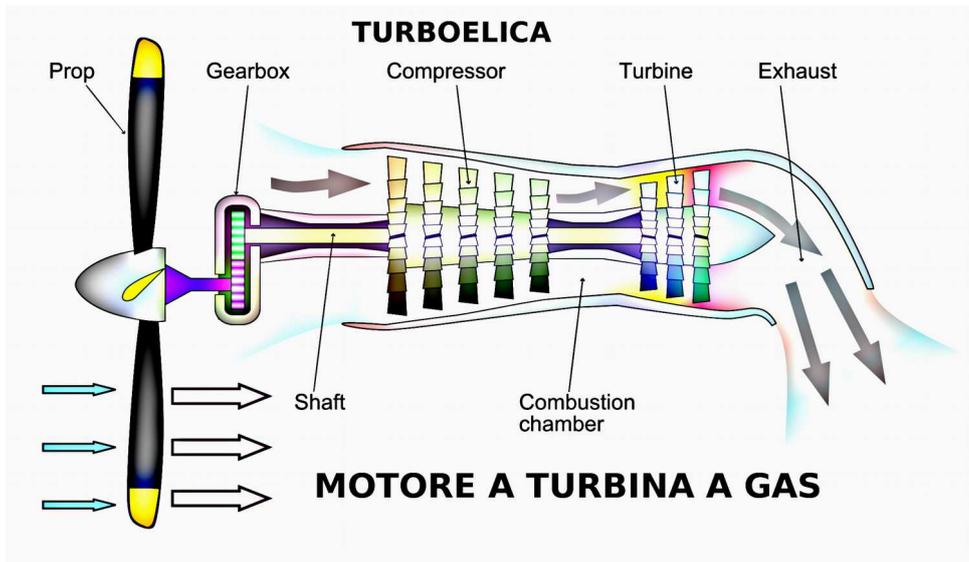
Il motore a **turbina a gas** è alimentato con cherosene o gas metano, è utilizzato su aerei ad elica, elicotteri e centrali elettriche.



Vediamo ora come si passa dal **motore a pistoni con turbocompressore** al **motore a turbina**.



Consideriamo un motore a combustione interna con turbocompressore, l'aria subisce **due compressioni**: la prima nel turbo, la seconda nel cilindro, durante la fase 2; allo stesso modo i gas combusti caldi **si espandono** producendo energia meccanica **due volte**: la prima nel cilindro (fase 3: scoppio-espansione), la seconda nella turbina. Immaginiamo di **eliminare** le fasi di **compressione** ed **espansione** che avvengono nel cilindro, lasciando solo le due che avvengono nel **turbo**; in mezzo tra le due rimane allora solo la fase di **combustione**. Al posto del **cilindro** troviamo una **camera di combustione**, dove questa avviene in modo **continuo**.



Struttura e funzionamento del motore a turbina a gas

Il motore a turbina quindi è costituito da un **condotto** dentro il quale troviamo un **compressore** a palette (*), una **camera di combustione** ed una **turbina(**)**; il compressore e la turbina sono montati su di un **asse di trasmissione** (shaft); lo stesso asse aziona, tramite un ingranaggio riduttore di giri (gearbox) l'elica (prop=propeller).

L'aria viene aspirata nel condotto, compressa dal **compressore** e arriva nella **camera di combustione**. Qui viene a contatto con il **combustibile** iniettato nella camera e si ha la combustione; i **gas combusti** caldi e ad alta pressione passano nella **turbina** ed **espandendosi** la fanno girare spingendone le palette (che si muovono: forza x spostamento = energia meccanica). Dopo aver ceduto la loro energia i gas combusti vengono scaricati (exhaust).

L'**energia meccanica** prodotta dalla turbina viene trasferita tramite l'asse di trasmissione; in parte viene utilizzata per azionare il compressore, la parte maggiore invece costituisce l'**energia prodotta dal motore**. L'**energia meccanica** prodotta viene usata per muovere un'**elica** (aerei fino a 50 posti, elicotteri) o un **generatore elettrico** (nelle **centrali elettriche turbogas**).

Vantaggi (rispetto al motore a pistoni):

alto rapporto potenza-peso: a parità di peso ha potenze molto elevate;

Svantaggi (rispetto al motore a pistoni):

consumo alto, costo di manutenzione alto.

Nota: le fasi di funzionamento del motore a turbina (aspirazione, compressione, combustione, espansione, scarico) sono le stesse del motore a combustione interna, ma mentre in questo si susseguono in modo ciclico, nella turbina a gas avvengono continuamente. Perciò le quantità di aria e combustibile sono molto grandi, a parità di peso e ingombro del motore

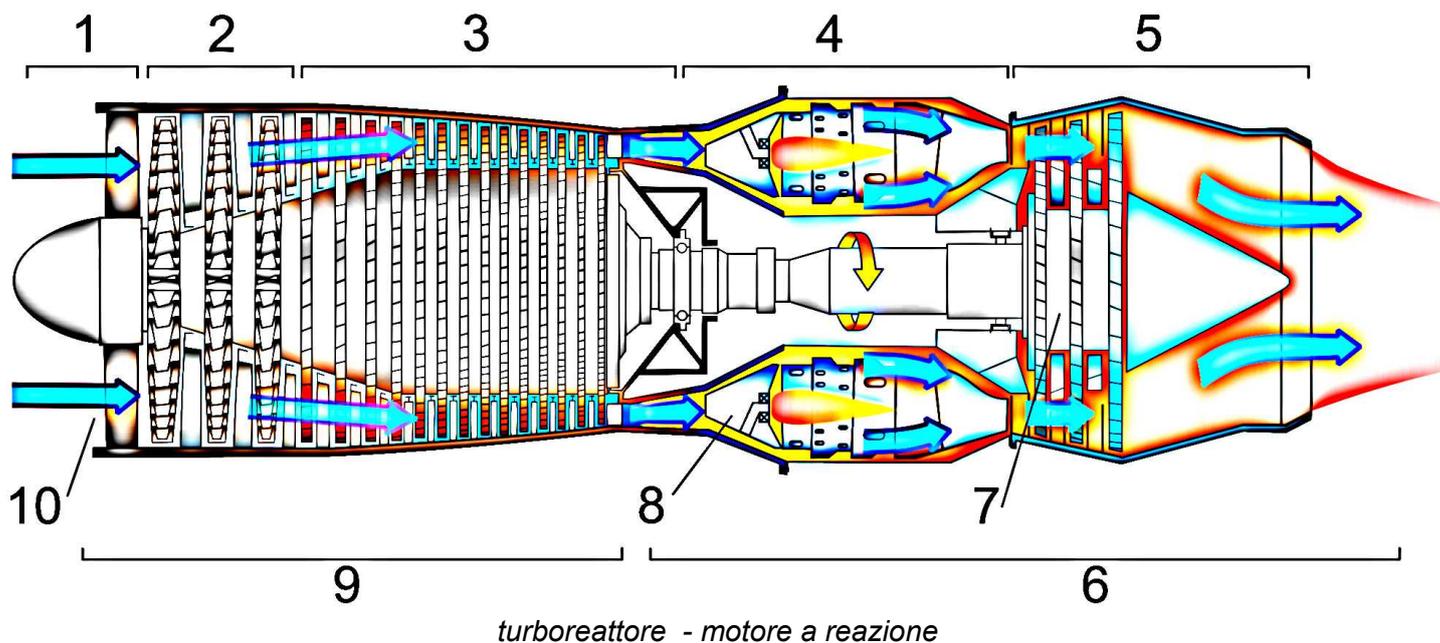
(*) **compressore a palette:** è una serie di ventilatori di metallo, ciascuno con tante palette.

(**) **turbina:** è una serie di tante girandole di metallo, ciascuna con tante palette.

Il turboreattore

Applicazione: aerei a reazione (jet). Il motore a reazione (detto anche **turboreattore** o **turbogetto**) si utilizza perché permette di avere **aerei molto più veloci** di quelli ad elica con motore a combustione interna e ad elica con turbina a gas.

Tipo di aereo e tipo di motore	Velocità massima
aerei civili ad elica con motore a combustione interna per volo privato per sport (da 2 a 5 posti)	150-300 km/h
aerei militari ad elica con motore a combustione interna Supermarine Spitfire , Messerschmitt Bf-109 (II guerra mondiale)	700 km/h
aerei civili passeggeri da circa 50 posti ad elica con motore a turbina a gas (turboelica)	500 km/h
Messerschmitt Me-262 : primo aereo militare con turbogetto , 1944, fine II guerra mondiale, Germania	870 km/h
aerei civili passeggeri da 100 a 500 posti con turbogetto (turbofan) (jet)	980 km/h
BARRIERA DEL SUONO	1000 km/h (300 m/s) Mach 1
aerei militari supersonici (Eurofighter, Tornado, F-22, F-35, F-15, F-16, FA-18 ecc... turbogetto (con post-bruciatore)	2000 km/h Mach 2
Concorde : aereo civile passeggeri da 150 posti supersonico, motore turbogetto (con post-bruciatore)	2000 km/h Mach 2
MIG 25 : aereo militare con turbogetto (con post-bruciatore)	3000 km/h Mach 3
SR-71 : aereo militare spia con motore misto : turbogetto con post-bruciatore che si trasforma in statoreattore	3500 km/h Mach 3,2
X-15 : aereo sperimentale con motore a razzo	7274 km/h Mach 6,7
X-43 : modello sperimentale senza pilota con statoreattore	11200 km/h Mach 9,68 (per circa 10 secondi)



Nota: scaricare (ma non stampare) da Siribillo – Tecnologia le **immagini** di turbocompressore, turboelica, turbogetto, turbogas e centrali elettriche:
http://www.ppppiero.it/magazzino/Turbine_e_centrali_01.zip (file compresso)

Dal motore **motore a turbina** al **turbogetto**

Nel motore a **turbina** i gas caldi si **espandono** nella turbina producendo **energia meccanica**, vengono poi espulsi (scaricati) a **pressione, temperatura e velocità bassa**;

Nel **turbogetto** invece di **sottrarre l'energia meccanica ai gas** in uscita dalla turbina, gliela si lascia, ma **convertendola in energia cinetica (=velocità del gas)**. La turbina quindi è più piccola, e preleva solo l'energia necessaria per muovere il compressore; i **gas caldi ad alta pressione** vengono poi fatti passare in un **ugello** che li **accelera**: la pressione dei gas diminuisce e la **velocità aumenta**. I gas vengono **espulsi dallo scarico ad altissima velocità**, tutto il motore riceve una **spinta in direzione opposta** per il principio di azione e reazione.

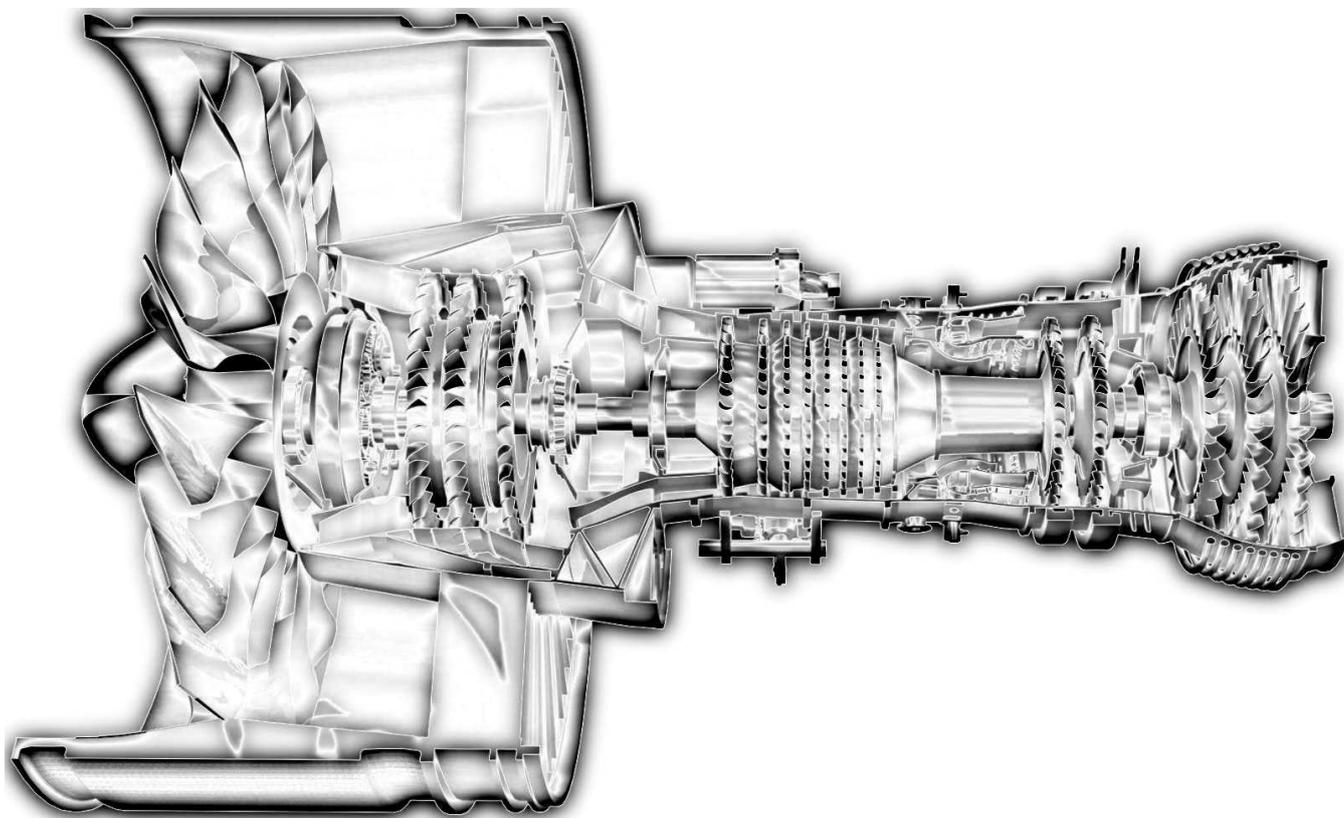
Vantaggi: velocità massima più alta (rispetto a motori turboelica);

Svantaggi: consumo alto (=costi per il **carburante alti**), **costi di manutenzione alti** (rispetto a motori turboelica).

Motore turbofan (turboventola)

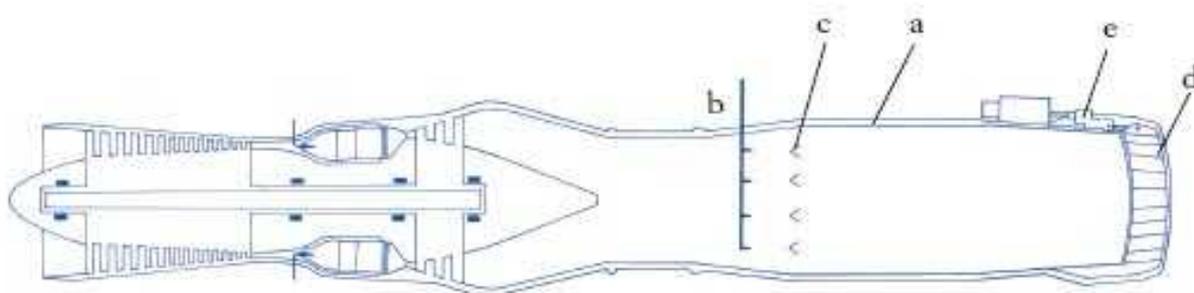
È utilizzato sui moderni jet commerciali, è un misto tra turboelica e turbogetto: è fatto come un turbogetto ma nel quale una parte dell'aria passa solo nel primo stadio del compressore (fan=ventola), e non nel resto del motore (camera di combustione e turbina). Parte dell'aria viene quindi soltanto accelerata e poi espulsa.

Vantaggi rispetto al turbogetto puro: **consuma di meno**, fa **meno rumore** (molto importante in vicinanza degli aeroporti).



motore turbofan (turboventola)

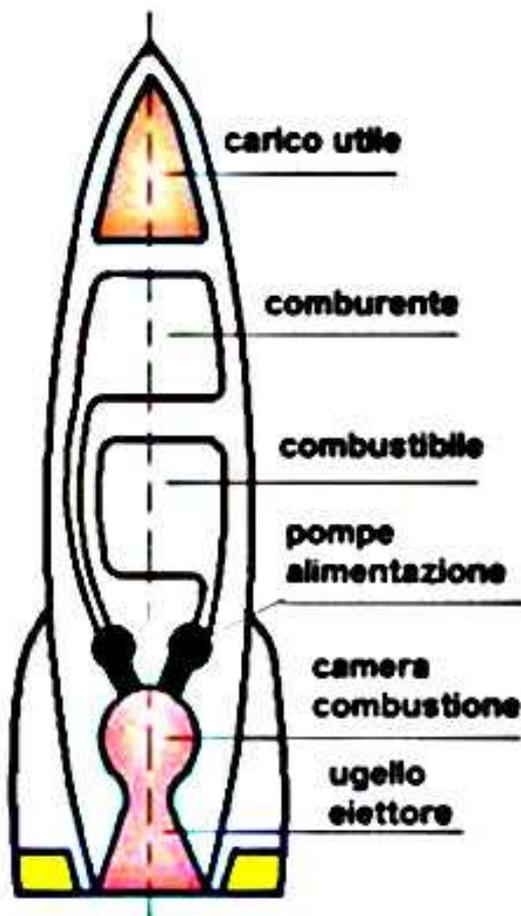
Turbogetto con postbruciatore: è un turbogetto che possiede una seconda camera di combustione a valle della turbina: questo entra in funzione per periodi brevi per aumentare molto la spinta del motore (applicazione su aerei militari per manovre di emergenza in combattimento o decolli veloci su allarme).



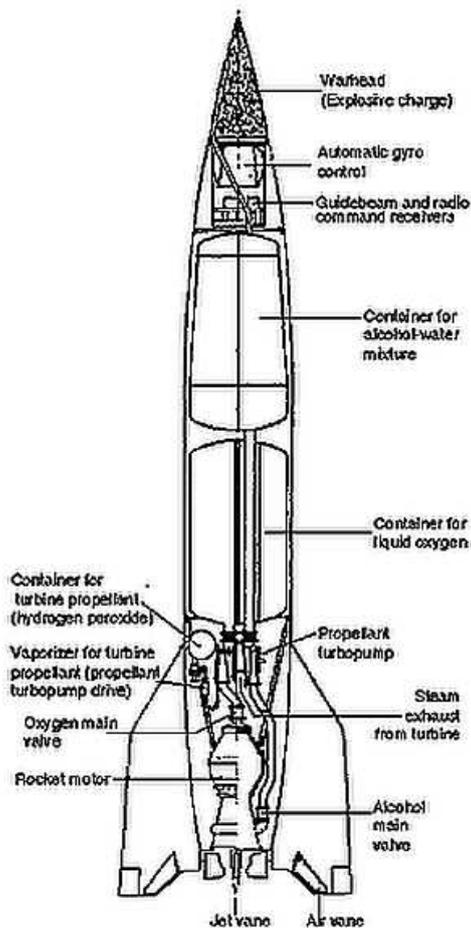
Scramjet (statoreattore): è un motore a reazione senza parti in movimento fatto per funzionare a velocità altissime (mach 3-6).

Applicazioni rarissime, esempio: aereo spia **Lockheed SR-71 Blackbird**.

Motore a razzo: è un motore a reazione ma che non aspira aria dall'esterno: il comburente liquido o in polvere viene trasportato dal veicolo come il combustibile. Applicazione: veicoli spaziali (poiché funziona anche nel vuoto).



schema di missile con motore a razzo



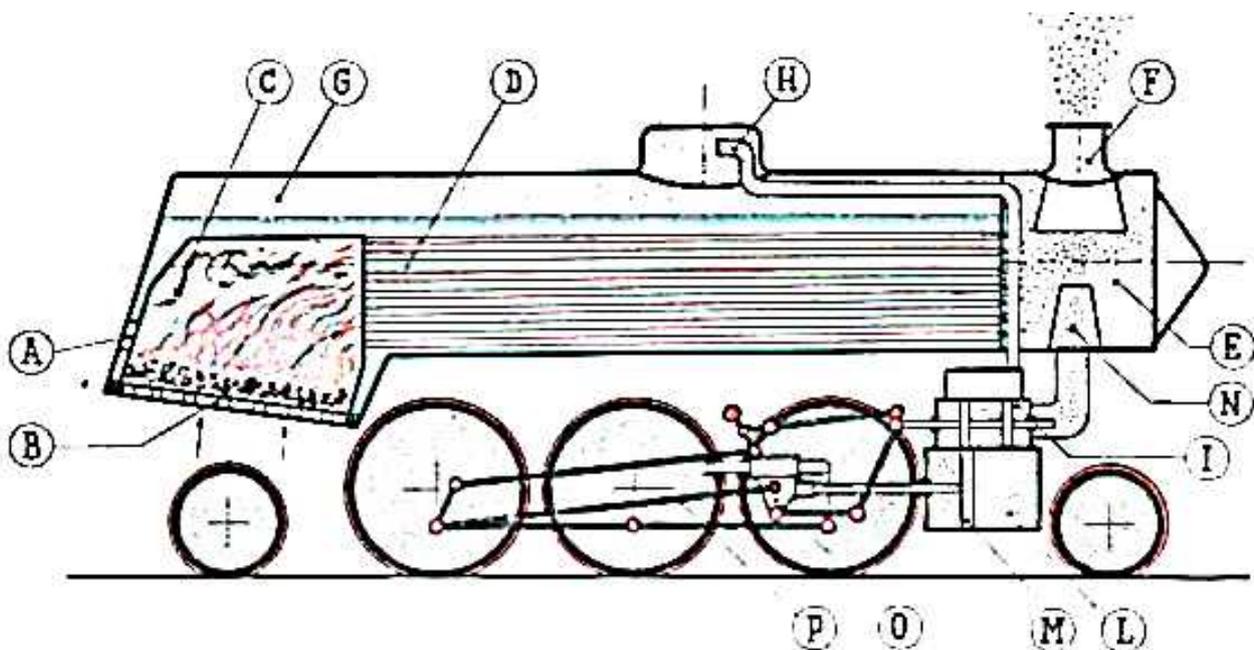
*missile balistico V-2,
Germania, Il guerra mondiale*

La macchina a vapore

Durante tutto l'Ottocento e parte del Novecento la macchina **macchina a vapore** è stata impiegata sia in versione **mobile**, per la **trazione ferroviaria**, sia in versione **fissa**, per **fornire energia meccanica** a **generatori elettrici** e **industrie** di ogni tipo (tessili, siderurgiche, manifatturiere).

La **macchina a vapore** è importante per due motivi:

- ragioni storiche: è stata il **primo motore diffuso su grande scala**; sostituì la trazione animale rendendo disponibili per l'industria grandi quantità di energia meccanica; perciò ha determinato la prima **rivoluzione industriale**, cambiando per sempre il corso della storia;
- ragioni tecniche: le attuali **centrali termoelettriche** sono basate su di un **ciclo a vapore** molto simile a quello delle macchine ottocentesche, seppure più sofisticato e perfezionato.



Macchina a vapore mobile per trazione ferroviaria

Macchina a vapore

La macchina a vapore è un motore a combustione esterna. **Il carbone brucia** nel focolare (B), i fumi caldissimi passano nel fascio tubiero (D) che passa attraverso la caldaia piena d'acqua. L'acqua viene riscaldata e si trasforma in vapore surriscaldato ad alta pressione (G). Il vapore viene prelevato da un tubo dalla parte alta della caldaia, detta duomo (H), e portato al cassetto di distribuzione (I). Il cassetto invia il vapore al cilindro (L). Nel cilindro **il vapore si espande e produce lavoro meccanico**, poiché esercita una forza sulla superficie dello stantuffo (M) che si sposta (energia meccanica = forza x spostamento). Lo stantuffo aziona le ruote tramite una biella (P). Dopo l'espansione il vapore, ormai a bassa pressione, viene scaricato all'esterno (origine del classico rumore "ciuff ciuff" delle locomotive a vapore).

Video di dimostrazione del modello di manovellismo, cassetto di distribuzione e regolatore di Watt: <https://www.youtube.com/watch?v=bopOHSiGdYU>

Filmato (Youtube): motore a vapore fatto in casa:
<https://www.youtube.com/watch?v=M8e40rgS1il>

Confrontare lo schema della macchina a vapore con quello della centrale termoelettrica tradizionale .

L'Energia e le sue forme

Definizione di **Energia**: **potenzialità di compiere lavoro** (meccanico).

Energia meccanica = forza x spostamento

Unità di misura nel Sistema Internazionale: **joule** (simbolo **J**)

1 joule = quantità di **energia** necessaria per compiere il **lavoro** di sollevare il peso di **1 newton** per **1 metro** = $1 \text{kg}_{\text{peso}} / 9,81$ per **1 metro** \approx **100 g** per **1 metro**

Quanta energia meccanica è **1 joule**?

Esempio 1: sollevamento del **cancellino**

Consideriamo che il cancellino da lavagna (cimoso) sia appoggiato sul pavimento: | per sollevarlo fino al piano della cattedra qualcosa (i muscoli della persona che lo solleva) deve fornire **energia** per vincere la **forza** di gravità (=peso del cancellino) per uno **spostamento** (=altezza della cattedra rispetto al pavimento).

Quanta energia serve?

Peso del cancellino = 100 g = 0,1 kg peso = 0,1 kg forza \approx 1 newton.

(Per fare i calcoli utilizziamo le unità di misura del Sistema Internazionale, nel S.I. l'unità di misura delle forze è il newton (e non il kg forza); il S.I. utilizza il newton perché il kg forza è una unità di misura che è leggermente imprecisa, poiché cambia a seconda del punto della terra nel quale ci si trova: per esempio in alta montagna 1 kg forza è leggermente diverso dal livello del mare; inoltre cambia anche perché la terra non è una sfera perfetta, in ogni punto è diversa la distanza dal centro)

Altezza della cattedra = 1 metro.

Energia = forza x spostamento = 1 newton x 1 metro = **1 joule**.

Esempio 2: ascensore

Quanta **energia** serve per **sollevare** la cabina di un ascensore da **500 kg** per tre piani (**10 metri**)?

Energia = forza x spostamento = peso cabina x 10 metri

Peso cabina = 500 kg = 500 x 9,81 newton = 4905 newton quindi

Energia = 4905 newton x 10 metri = **49050 joule** = 49,050 kilojoule = 49,050 kJ

Manifestazione delle diverse forme di energia

(sul libro da pag. 128 a 131):

- **en. meccanica**: spostare dei pesi, sollevare dei pesi, **movimento**;

- **en. termica**: se faccio **bollire una pentola d'acqua** il vapore **solleva il coperchio** (forza fatta dal vapore x spostamento): significa che il **calore si è trasformato in energia meccanica**, allora **il calore è una forma di energia**;

- **en. chimica**: quando i combustibili **bruciano** si libera del **calore**, allora significa che **i combustibili contengono energia**, che chiamiamo **energia chimica**; è contenuta nei **legami chimici che uniscono gli atomi**; se nelle reazioni chimiche i legami si spezzano l'**energia chimica** viene liberata sotto forma di **calore (esempio della combustione del metano)**;

- **en. luminosa**: è **trasportata dalla luce**; esempio: se mi metto al sole sento caldo, cioè ricevo **en. termica**; significa che anche **la luce trasporta energia**;

- **en. elettrica**: la corrente elettrica che scorre in un filo conduttore lo **scalda (en. termica)**, significa che parte dell'energia elettrica che passa nel filo si trasforma in **energia termica**;
un motore elettrico produce **movimento** e compie **lavoro meccanico**: significa che **trasforma l'energia elettrica in energia meccanica**;

- **en. nucleare**: è contenuta nel **nucleo** degli atomi. Nelle reazioni nucleari l'energia contenuta si libera perché una piccola parte di materia scompare e si converte in energia.

Nel libro: **varie forme** e manifestazioni di **energia** pagg. 128-129.

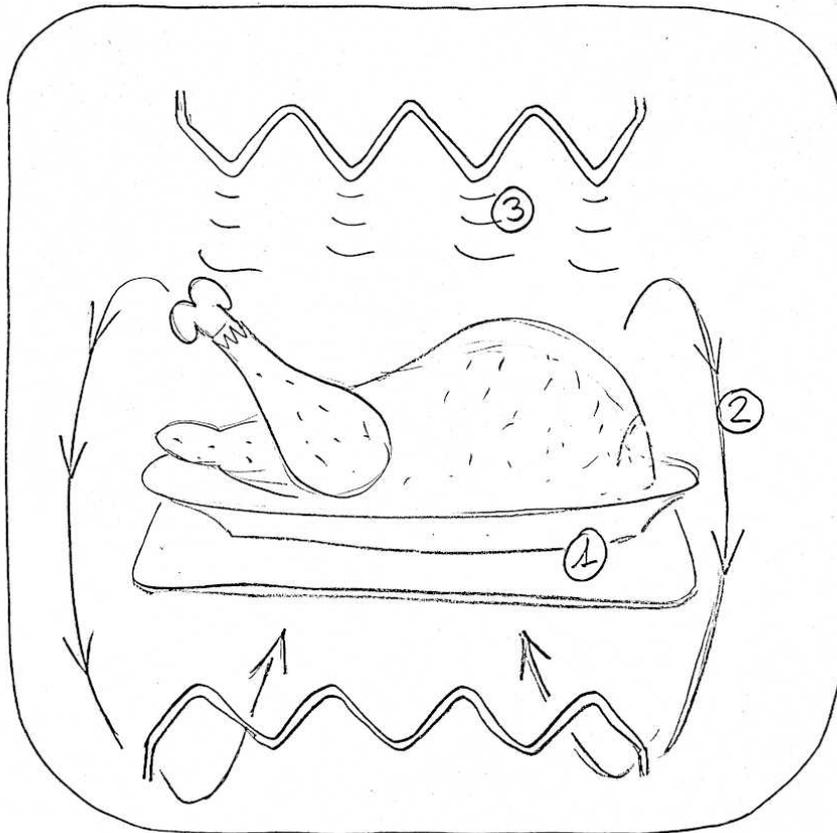
Energia potenziale (chimica, gravitazionale, elastica, elettrica pag. 130)

Trasformazioni dell'energia: convertitori, pagg. 130-131:

- **conversioni di energia nei dispositivi della vita quotidiana.**

Trasmissione dell'energia termica

(Nel libro Tecnocloud B pag. 129)



L'energia termica (calore) si può trasmettere in tre modi:

1 – conduzione: se un corpo freddo viene messo a **contatto** con un corpo caldo si ha un passaggio di energia termica.

Esempio della cottura del pollo nel forno elettrico:

il calore passa per conduzione dalla teglia al vassoio.

2 – convezione: il calore viene trasportato attraverso la **circolazione** di un **fluido** (= un gas o un liquido). Il fluido a contatto con un corpo caldo ne assorbe calore, diventa più leggero (perché meno denso) e tende a salire, lasciando il posto a fluido più freddo che scende:

si innesca una circolazione di fluido che trasporta calore (moto convettivo).

Il calore passa per convezione dalla serpentina inferiore alla teglia ed al pollo.

3 – irraggiamento: un corpo caldo emette energia sotto forma di **radiazioni infrarosse** (= luce non visibile = onde elettromagnetiche) che arrivando su di un secondo corpo producono degli effetti termici (= lo riscaldano). Questo modo funziona **anche nel vuoto** (e quindi nello spazio).

Il calore passa per irraggiamento dalla serpentina superiore al pollo.

Energia e potenza

Legame tra **potenza** ed **energia**:

$$Potenza = \frac{Energia}{tempo}$$

o meglio:

$$Potenza = \frac{Energia\ prodotta\ o\ trasformata}{tempo\ nel\ quale\ è\ stata\ prodotta\ o\ trasformata}$$

Unità di misura nel Sistema Internazionale: **watt** (simbolo **W**)

1 watt = potenza di una macchina che in **1 secondo** di tempo produce **1 joule** di energia.

Valgono anche la formule:

$$Energia = potenza \cdot tempo \quad e \quad tempo = \frac{Energia}{Potenza}$$

Esempio 1: tutti i motori sono macchine che producono energia. Ma a parità di tempo, ogni motore è in grado di produrre al massimo una quantità limitata di energia. Per esempio il motore di una Ferrari in un secondo di tempo è in grado di produrre 294 kilojoule di energia; invece il motore di una Panda, nello stesso intervallo di tempo di un secondo, riesce a produrre al massimo 37 kilojoule; calcoliamo la potenza dei due motori:

Potenza Ferrari = 294 kilojoule / 1 secondo = 294 kilowatt

Potenza Panda = 37 kilojoule / 1 secondo = 37 kilowatt

Oltre al watt si usano comunemente anche altre unità di misura della potenza (non sono adatte per fare i calcoli ma storicamente si utilizzano in vari settori tecnologici):

Cavallo Vapore (simbolo CV) 1 CV = 0,735 kilowatt

British Horse Power (simbolo BHP) 1 BHP = 0,745 kilowatt

motore	Potenza in kilowatt	Potenza in cavalli vapore	Potenza in british horse power
Ferrari	294 kW	294 / 0,735 = 400 CV	294 / 0,745 = 395 BHP
Panda	37 kW	37 / 0,735 = 50 CV	37 / 0,745 = 49 BHP

Esempio 2: che potenza deve avere il motore di un ascensore per **sollevare** la cabina da **500 kg** per tre piani (10 metri) **in 30 secondi**? E **in 20 secondi**? E se metto un motore con potenza P = 100 watt **quanto tempo** impiega l'ascensore a salire?

Abbiamo già calcolato in un esempio precedente che per sollevare la cabina servono 49050 joule = 49,050 kilojoule.

Per sollevarla in **30 secondi** la potenza deve essere:

$$Potenza = energia / tempo = 49050 \text{ joule} / 30 \text{ secondi} = 1635 \text{ watt} = 1,635 \text{ kilowatt}$$

Per sollevarla in **20 secondi** invece:

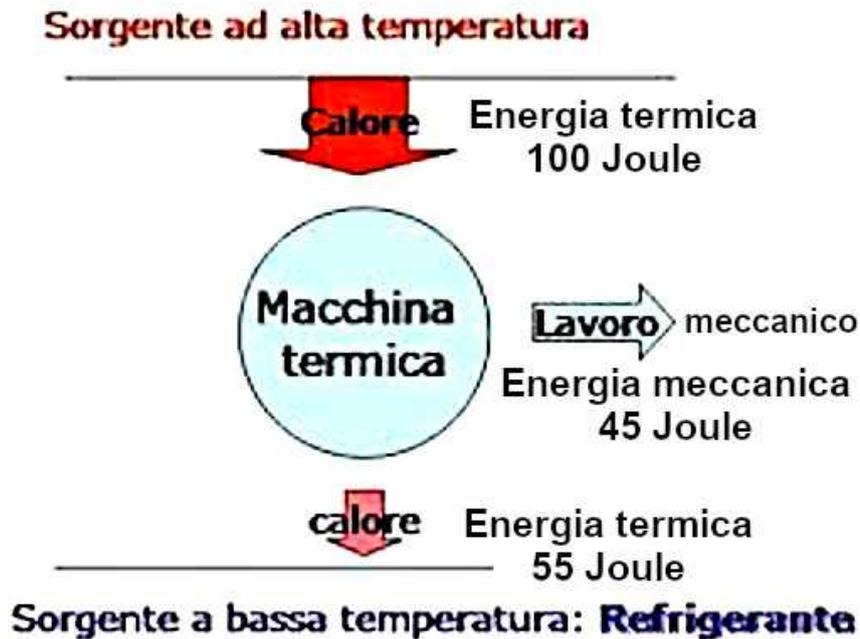
$$Potenza = energia / tempo = 49050 \text{ joule} / 20 \text{ secondi} = 2452 \text{ watt} = 2,452 \text{ kilowatt}$$

Se per risparmiare montiamo nell'ascensore un motore con potenza P = 100 watt (la potenza di una lampadina) l'ascensore impiega a salire il tempo:

tempo = Energia / Potenza = 49050 joule / 100 watt = 490 secondi = 490 / 60 minuti = **8,175 minuti**; per fare 3 piani sono decisamente troppi, la potenza del motore in questo caso è inadeguata!

Il rendimento delle trasformazioni energetiche

Consideriamo una **macchina** che compia una **trasformazione di energia**, per esempio assorba energia termica e ne **converta** una parte in un altro tipo di energia, per esempio meccanica.



Il **rendimento** di una **trasformazione** di energia (o della macchina che compie la trasformazione di energia) è il **rapporto** tra **energia utile in uscita E_u** ed **energia in ingresso E_i** ; il rendimento si indica con la lettera greca **eta η**

$$\eta = \frac{\text{Energia utile in uscita}}{\text{Energia in ingresso}} = \frac{E_u}{E_i} \quad (1)$$

Il **rendimento** serve perchè **indica quanta energia** si ricava **in uscita da una trasformazione** energetica (in uscita dalla macchina che compie la trasformazione); infatti la formula (1) si può scrivere anche come:

$$\text{Energia utile in uscita} = \eta \cdot \text{Energia in ingresso}$$

dalla quale si vede che, a parità di **energia in ingresso E_i** ,
se **η è grande** anche l'**energia utile** ottenuta in **uscita E_u** è grande.

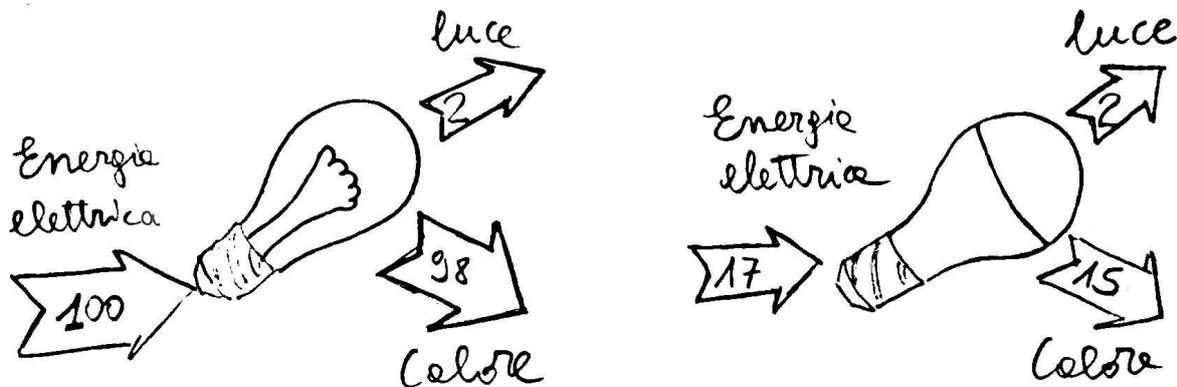
Il rendimento **misura la bontà di una trasformazione di energia** e della macchina che la compie: una macchina è tanto migliore quanto **maggiore è l'energia utile** che **fornisce in uscita** (a parità di energia in ingresso).

Esempio 1: consideriamo due lampadine:

Lampadina 1: **lampada ad incandescenza** (a filamento);

Lampadina 2: **lampada a LED**.

	Lampada incandescenza	Lampada LED
energia luminosa utile in uscita	2 joule	2 joule
energia elettrica in ingresso	100 joule	17 joule
rendimento energetico η	$\eta = 2 / 100 = 0,02 = 2\%$	$\eta = 2 / 17 = 0,12 = 12\%$



Nella **lampada ad incandescenza** il **2%** dell'energia in ingresso viene trasformato in **energia utile in uscita**, il **98%** viene invece trasformato in **energia termica** (calore).

Nella **lampada a LED** invece **12%** dell'energia in ingresso viene trasformato in **energia utile in uscita**, l'**88%** viene invece trasformato in **energia termica** (calore); la lampada a LED ha un rendimento migliore, riesce a **produrre la stessa energia luminosa** in uscita **utilizzando meno energia elettrica in ingresso**.

A prima vista potrebbe sembrare che anche la lampada a LED non sia tanto conveniente, visto che **spreca l'88% dell'energia** in ingresso, ma se andiamo a considerare i valori assoluti dell'energia sprecata in calore dalle due lampade vediamo che, per ottenere la stessa quantità di energia luminosa utile in uscita (2 joule):

- la **lampada a led** consuma **17 joule** di energia elettrica, di cui ne spreca **15 joule** in calore, mentre
- la **lampada ad incandescenza** consuma ben **100 joule** di energia elettrica, di cui ne spreca ben **98 joule** in calore.

Quindi anche **differenze non tanto grandi di rendimento** hanno **effetti molto evidenti sulle quantità di energia consumata e trasformata**.

Nota 1: il rendimento è sempre minore di 1, perché in tutte le macchine e trasformazioni l'energia in uscita E_u è sempre minore dell'energia in ingresso E_i : nessuna macchina può fornire in uscita più energia di quella che riceve in ingresso.

Nota 2: Il rendimento è un concetto **relativo**, dipende da **quale tipo di energia consideriamo utile**, cioè da **quale tipo di energia** ci interessa avere in uscita dalla trasformazione.

Esempio 2: confronto tra **lampadina** ad incandescenza e **stufa elettrica** a resistenza:

lampadina (filamento)	stufa elettrica (avvolgimento)
Energia in ingresso: Energia elettrica Energia utile in uscita: luce Altra energia in uscita: calore	Energia in ingresso: Energia elettrica Energia utile in uscita: calore Altra energia in uscita: luce
$\eta = \frac{\text{Energia } \mathbf{luminosa}}{\text{Energia } \mathbf{elettrica}}$	$\eta = \frac{\mathbf{Calore}}{\text{Energia } \mathbf{elettrica}}$

Entrambi i dispositivi trasformano l'energia elettrica in luce e calore, ma in uno è considerata **utile** la **luce**, nell'altro il **calore**.

I combustibili fossili

Origine e composizione dei combustibili fossili

(Nel libro Tecnocloud B: carbone pagg. 146-147; petrolio pagg. 148-149; gas pagg. 150-151)

I **combustibili fossili** sono il **carbone**, il **gas naturale** e i derivati del **petrolio**: **benzina**, **cherosene**, **gasolio** e **olio combustibile pesante**.

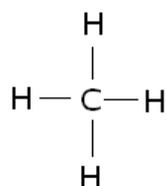
I **combustibili fossili** fanno parte delle **fonti di energia non rinnovabile**.

Petrolio e **gas naturale**: si trovano in natura in giacimenti sotterranei, sembra che derivino dalla decomposizione di organismi unicellulari marini vegetali e animali (fitoplancton e zooplancton) rimasti sepolti nel sottosuolo circa 500-250 milioni di anni fa (paleozoico).

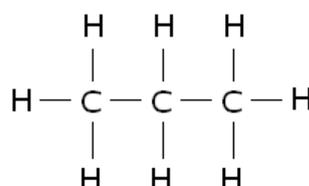
Carbone: dovuto alla stratificazione nel sottosuolo dei resti di foreste risalenti ad un periodo di intensa attività vegetale (circa 345 milioni di anni fa).

Il **petrolio** è una miscela di vari tipi di **idrocarburi**, questi hanno una struttura che assomiglia molto a quella della plastica. Infatti gli **idrocarburi** sono composti di **idrogeno** (simbolo **H**, IDRO) e **carbonio** (simbolo **C**, CARBURI), uniti a formare delle catene; nel caso degli idrocarburi però la catena è molto più corta (da uno a qualche decina di atomi).

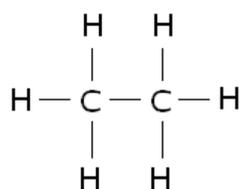
Alcuni idrocarburi:



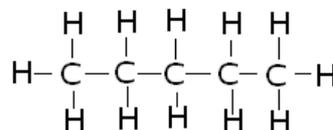
metano



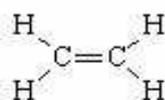
propano



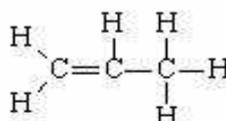
etano



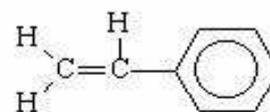
pentano



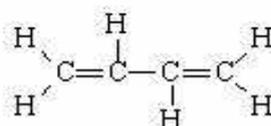
Etilene



Propilene



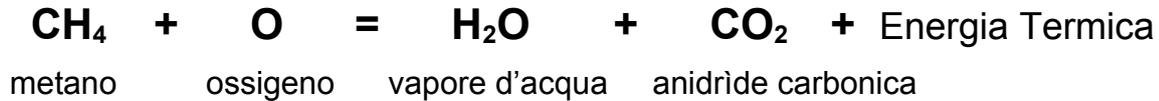
Stirene



Butadiene

Perché i combustibili fossili non sono sostenibili: l'effetto serra

Il **metano** (CH_4) è il più semplice degli idrocarburi. Mostriamo che la **combustione** del **metano** produce **anidride carbonica** (CO_2):



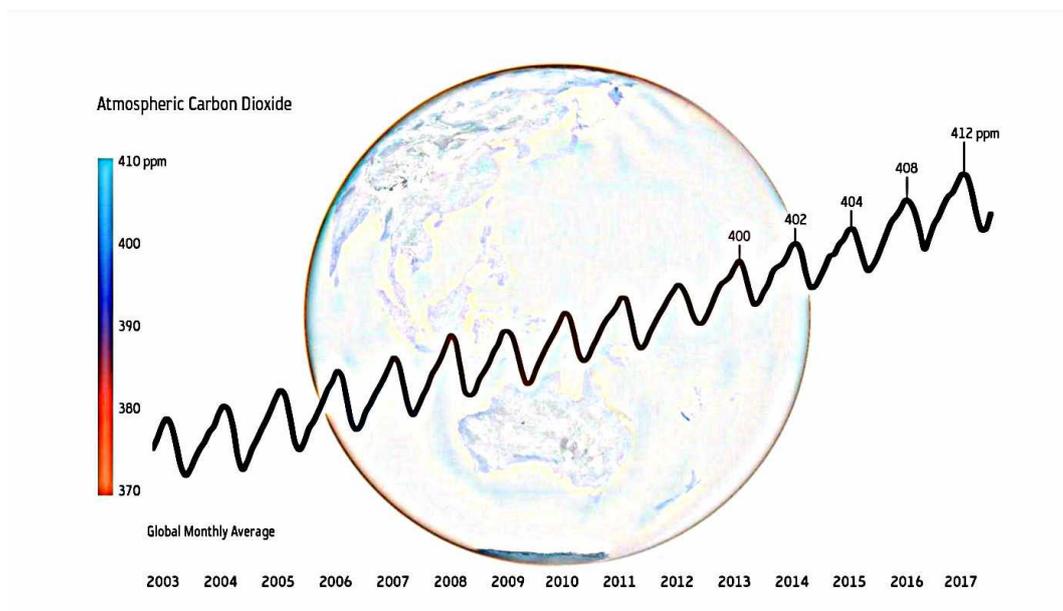
I **fumi** della combustione (gas combusti) sono perciò composti da **vapor d'acqua** e **anidride carbonica**.

Le quantità delle sostanze chimiche a sinistra dell'uguale devono essere uguali alle quantità a destra:



Abbiamo considerato il metano perché molto semplice dal punto di vista chimico, ma anche la combustione degli altri combustibili fossili produce vapor d'acqua e anidride carbonica.

L'anidride carbonica liberata dalla combustione finisce nell'atmosfera:



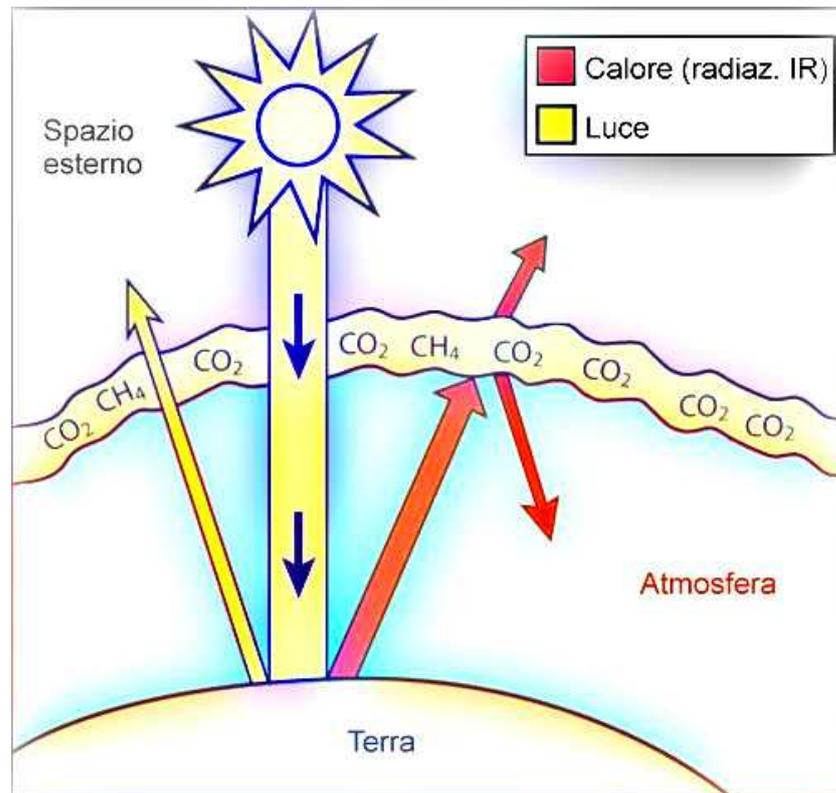
*Livelli di **anidride carbonica** nell'atmosfera misurati da satelliti che monitorano la Terra.*

Concentrazione dell'anidride carbonica: $400 \text{ ppm} = 400 \text{ parti per milione} =$
 $= 400 / 1\,000\,000 = 0,000\,4 / 100 = 0,000\,4 \%$

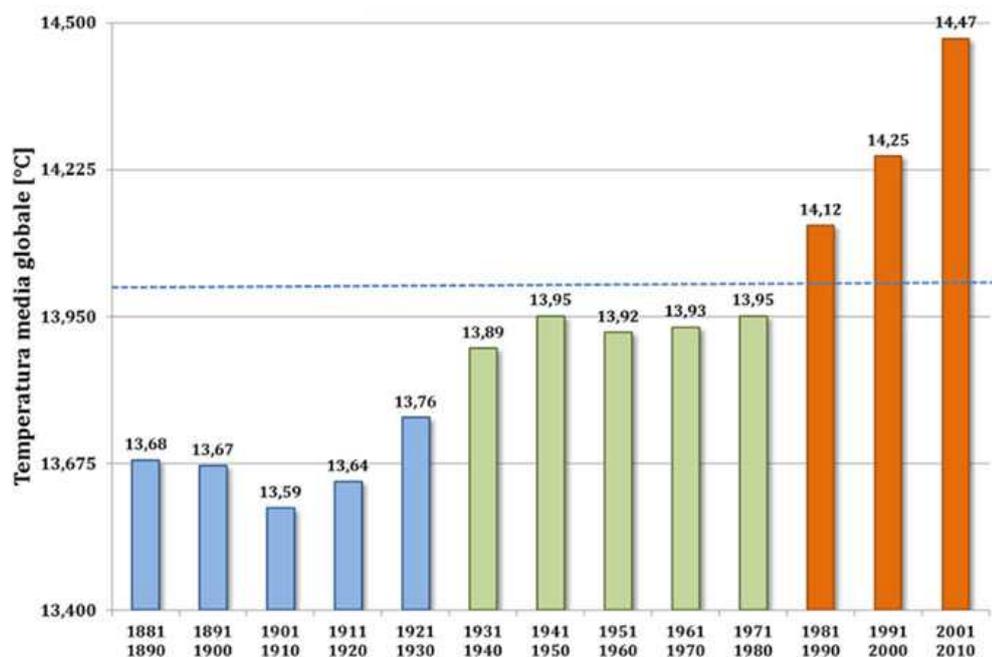
Le fluttuazioni annuali della curva sono dovute alla variazione stagionale della vegetazione e quindi alla maggiore o minore attività fotosintetica

<http://www.centrometeo.com/articoli-reportage-approfondimenti/climatologia/5223-effetto-serra-facciamo-chiarezza>

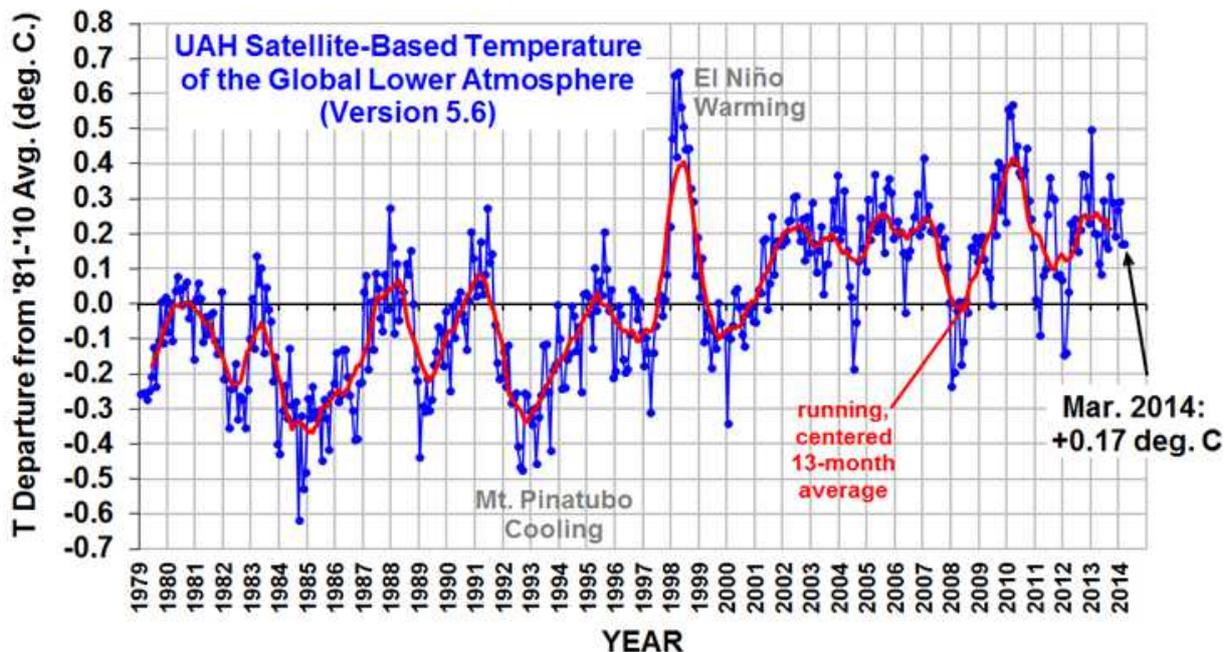
Effetto Serra



L'aumento della **concentrazione di anidride carbonica** nell'atmosfera causa un'aumento della parte di **radiazione infrarossa (I.R.)** che viene riflessa indietro sulla terra. Questo fenomeno è chiamato "**effetto serra**".



Temperatura dell'atmosfera (scostamenti dalla media del periodo 1981-2010) L'energia termica in eccesso dovuta all'aumento della parte di **radiazione infrarossa** riflessa indietro causa un aumento della temperatura **media** della terra. Questo fenomeno altera il clima, aumenta il numero e l'intensità degli eventi meteorologici estremi (tifoni, uragani, lunghi periodi di siccità o freddo intenso)



Per misurare questo aumento di temperatura media della terra, gli scienziati (climatologi e fisici dell'atmosfera) studiano l'andamento della temperatura su lunghi periodi di tempo in molti punti della terra.

NOTA: non confondiamo il problema del “buco nell'ozono” con l'effetto serra.

Il “buco nell'ozono” è una riduzione dello strato di ozono (composto chimico la cui molecola è formata da tre atomi di ossigeno O_3 , il normale ossigeno atmosferico è invece formato da molecole biatomiche O_2). La riduzione era causata dalla liberazione in atmosfera dei gas CFC (Cloro-Fluoro-Carburi) usati nei frigoriferi, condizionatori, nella fabbricazione del poliuretano e polistirolo espansi e come propellente nelle bombolette spray. L'ozono scherma parte dei raggi solari e la sua rarefazione sopra i poli causava lo scioglimento di parte dei ghiacci. Oggi il problema è stato risolto vietando in tutto il mondo l'utilizzo dei CFC, sostituiti da altre sostanze.

Riassumendo:

CFC Cloro-Fluoro-Carburi → buco nell'ozono →
 → accelerazione dello scioglimento del ghiaccio ai poli
 Divieto uso CFC → problema risolto

Combustibili fossili → **CO₂** →
 → Effetto serra → riscaldamento globale
Problema tutt'altro che risolto!

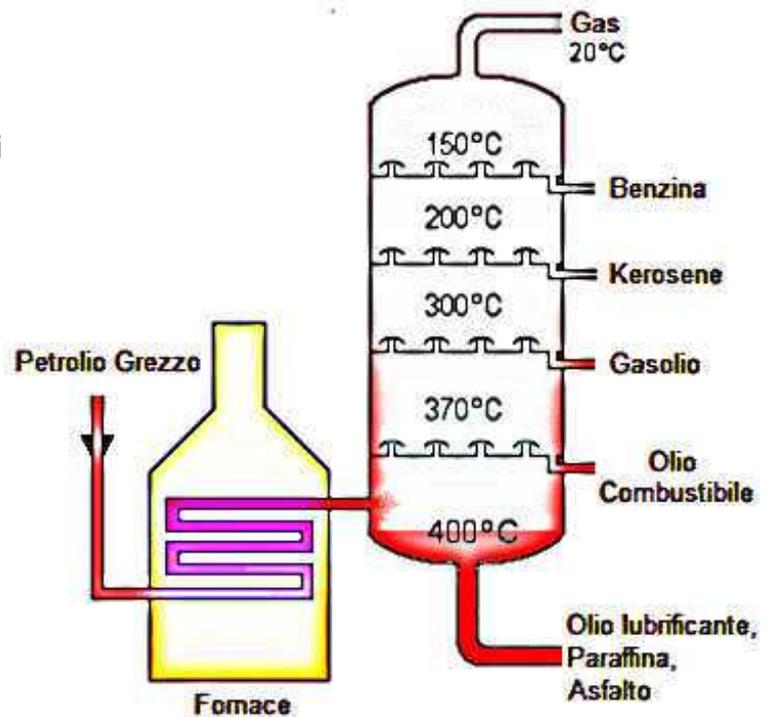
Distillazione frazionata del petrolio greggio

(nel libro pag. 149)

Il **petrolio** è una **miscela** di vari **idrocarburi** (=composti di idrogeno e carbonio) le cui molecole differiscono per la lunghezza della catena di gli atomi di carbonio.

Nella **colonna di distillazione** (**raffineria** Eni di Sannazzaro) il petrolio viene **separato** nei diversi **componenti**.

Il petrolio viene fatto bollire, e quindi passa allo stato di **vapore di petrolio**, i diversi componenti di questo vapore si **condensano** (=ridiventano liquidi) a diverse altezze nella colonna in base alla differente temperatura di condensazione.



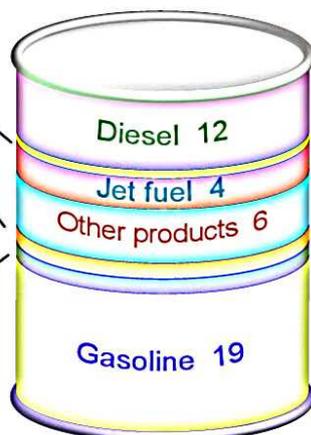
Dai componenti più **leggeri** (=molecole che sono catene di carbonio e idrogeno più corte) ai più **pesanti** (=molecole che sono catene di carbonio e idrogeno più lunghe):

Colonna di distillazione

- **metano** (caldaie, automobili, centrali a ciclo combinato, centrali turbogas);
- **gpl gas di petrolio liquefatto** (automobili);
- **benzina** (automobili);
- **cherosene** (aerei, centrali turbogas);
- **gasolio** (motori diesel: automobili, mezzi pesanti, navi);
- **olio combustibile** (centrali termoelettriche);
- **bitume** (asfalto).

Products made from a barrel of crude oil, 2013

Other distillates (heating oil) 1
Heavy fuel oil (residual) 1
Liquefied petroleum gases (LPG) 2



Un barile di petrolio greggio (circa 159 litri), sottoposto a distillazione frazionata (raffinazione), produce circa 72 litri di benzina, 38 litri di gasolio e anche altri prodotti petroliferi.

Crude oil = petrolio greggio =
= non raffinato

1 gallon = 1 gallone = 3,8 litri

Diesel = gasolio

Jet fuel = cherosene

Gasoline = benzina

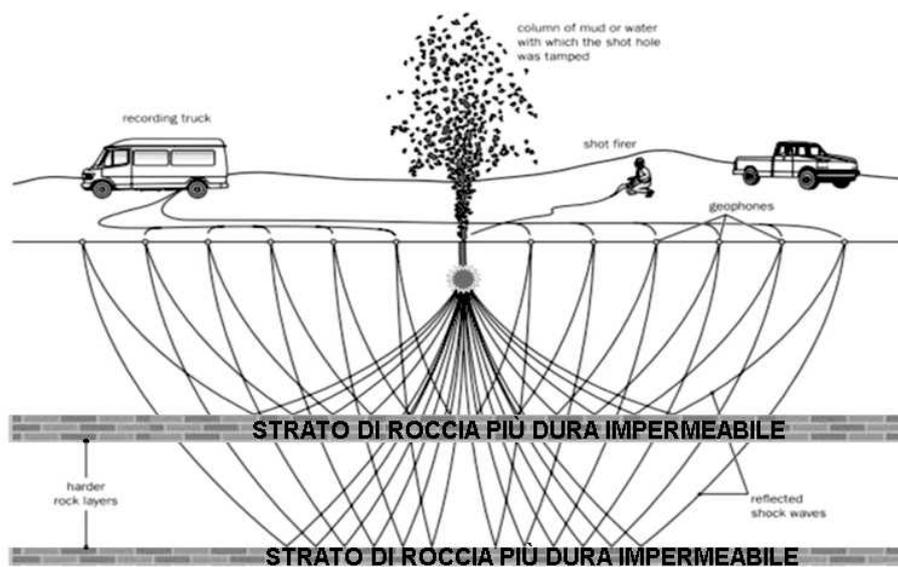
Heavy fuel oil = olio combustibile pesante

Liquefied petroleum gases =
= GPL Gas di petrolio liquefatto

Geoprospezione petrolifera

È l'indagine nel sottosuolo per trovare i giacimenti petroliferi (vedere dal libro pag. 149)

Tipi di geoprospezione: **sismica**, gravimetrica, magnetica

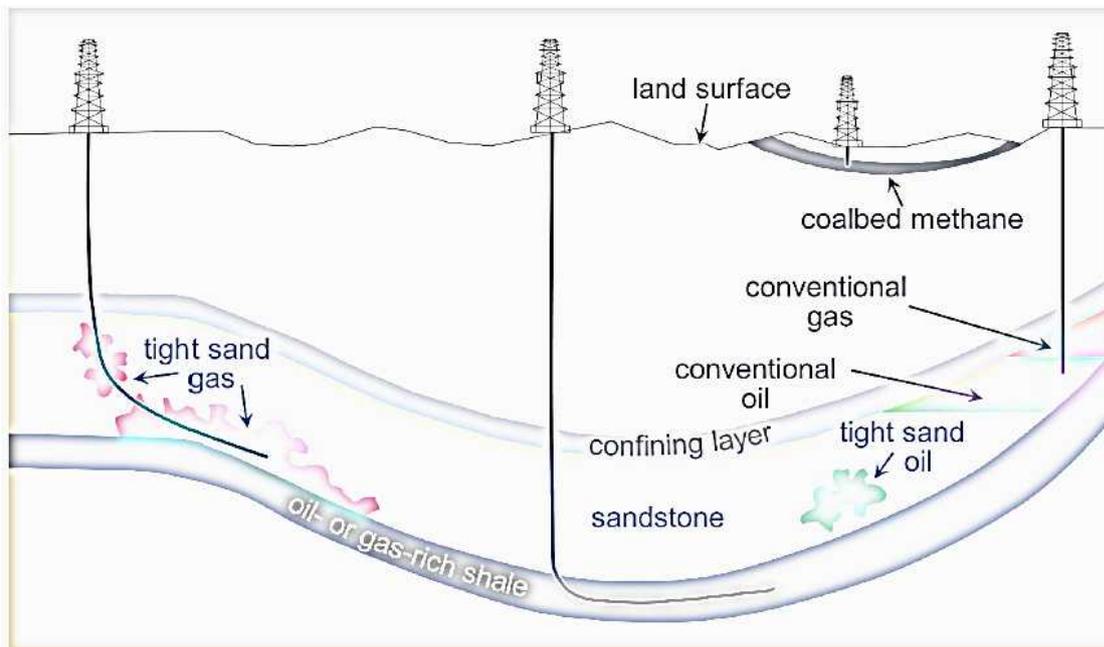


Fonte: E&P Forum, UNEP, 1997

geoprospezione petrolifera sismica

Estrazione del gas di scisto (shale gas)

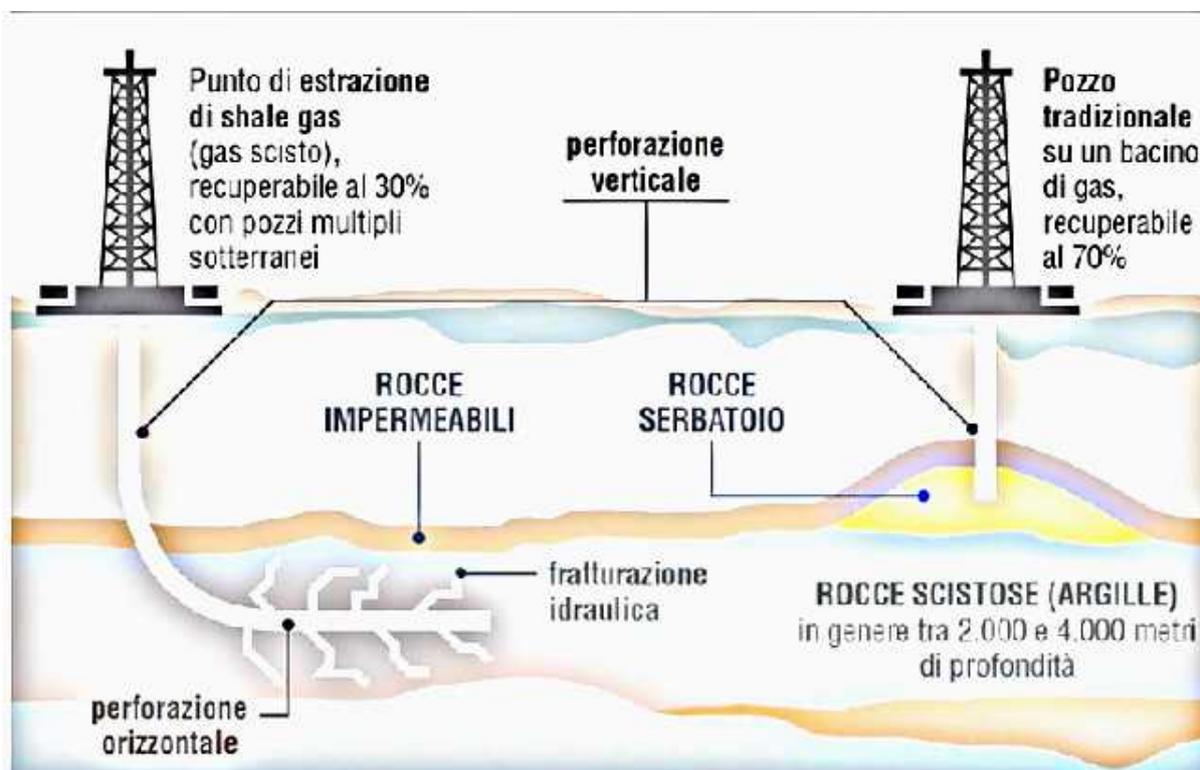
detta anche **fracking** = **fratturazione idraulica della roccia di scisto**.



Schematic cross-section of general types of oil and gas resources and the orientations of production wells used in hydraulic fracturing.

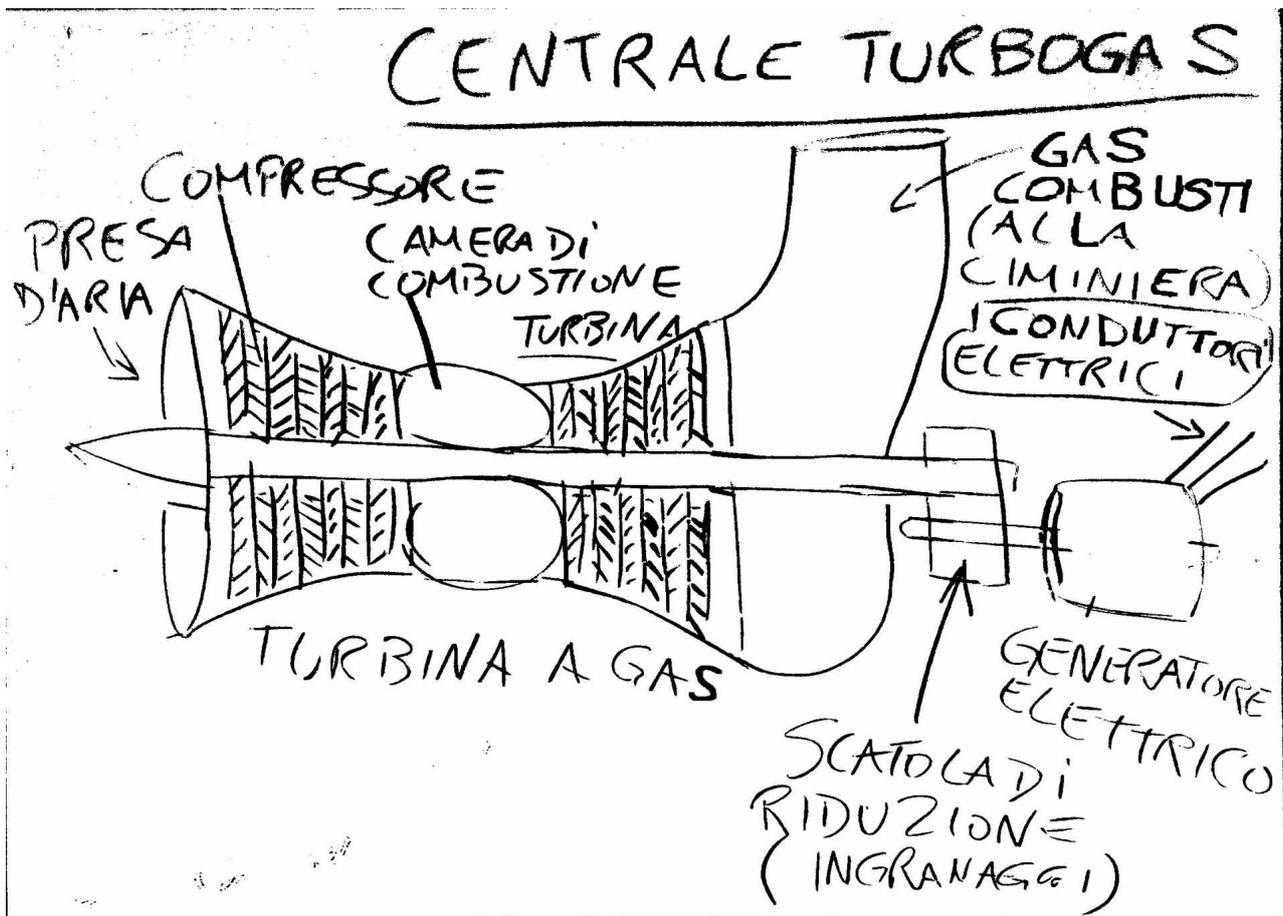
Il fracking o fratturazione idraulica è una tecnica di estrazione del gas naturale intrappolato nelle rocce di scisto scoperta recentemente; prevede una trivellazione orizzontale in profondità ed il pompaggio di acqua con solventi nel sottosuolo; causa la fratturazione della roccia e ha lo svantaggio di provocare terremoti (sebbene di lieve entità). L'uso intensivo del fracking (specie negli stati Uniti) ha fatto diminuire il prezzo del gas.

Esperimenti di fracking sono stati condotti anche in Emilia Romagna.



Le centrali elettriche a combustibili fossili

La centrale turbogas



La centrale turbogas serve per **produrre energia elettrica**. In questo tipo di centrale una **turbina a gas** alimentata a **gas metano** (o gas naturale o cherosene) produce **energia meccanica** che aziona un **generatore elettrico**; questo converte l'energia meccanica in energia elettrica, l'energia elettrica prodotta viene immessa nella rete elettrica di trasmissione nazionale.

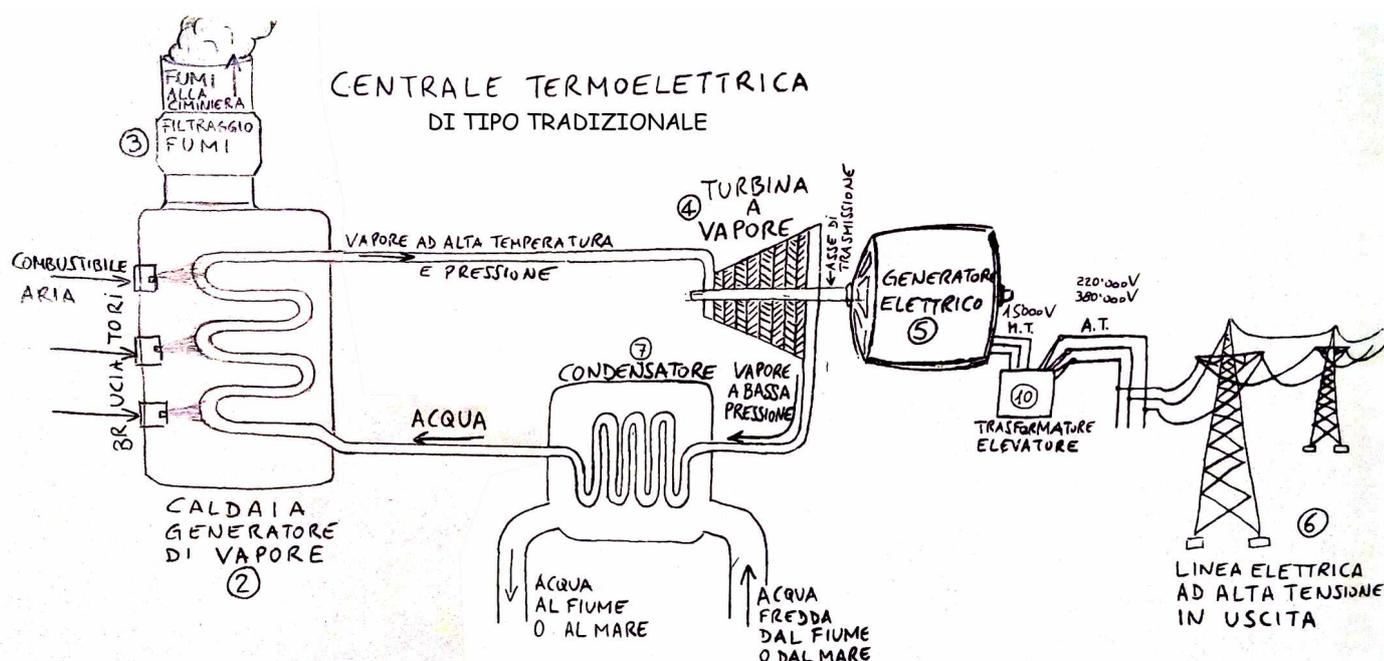
La turbina a gas funziona nello stesso modo del motore a turbina utilizzato sugli aeroplani a turboelica per azionare le eliche (vedi paragrafo precedente).

Vantaggi:

- è veloce ad entrare in funzione (10 minuti) e perciò viene usata per coprire i picchi di richiesta di potenza sulla rete elettrica nazionale durante la giornata;
- quando questa centrale è alimentata a gas (metano) le emissioni di sostanze inquinanti sono minori di quando è alimentata a cherosene e anche minori rispetto alle centrali termoelettriche tradizionali.

Svantaggi: brucia un combustibile pregiato e più costoso dell'olio combustibile.

La centrale termoelettrica tradizionale



Lo scopo della centrale termoelettrica è **produrre energia elettrica**. La centrale trasforma l'**energia chimica** del combustibile (olio pesante o carbone) prima in **energia termica** (bruciatore e caldaia) poi in **energia meccanica** (turbina a vapore) ed infine in **energia elettrica** (generatore elettrico o alternatore).

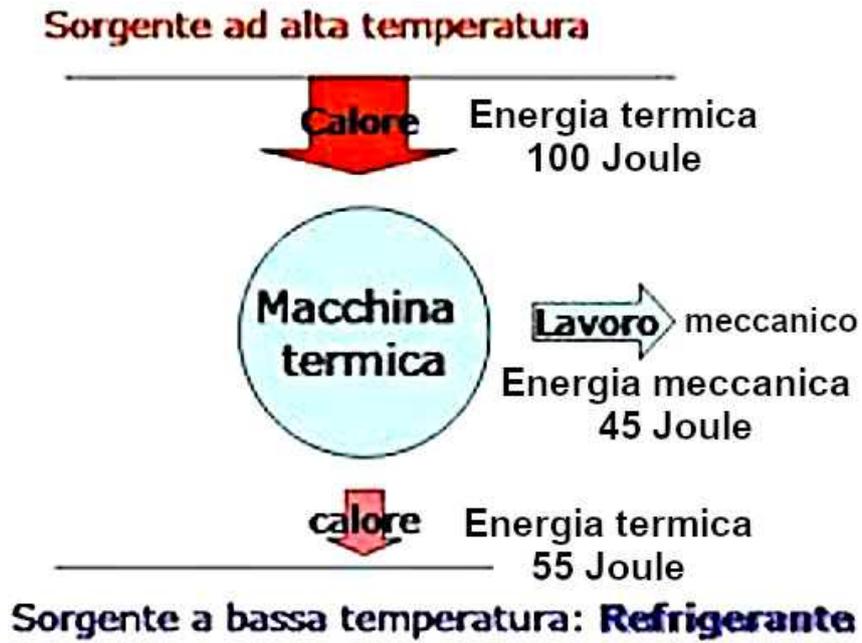
Nella **caldaia** il combustibile viene bruciato e produce **calore** e fumi. I fumi vengono filtrati e mandati alla ciminiera. L'**acqua** passa nella caldaia, assorbe calore e viene trasformata in vapore surriscaldato (500 °C) ad alta pressione. Il vapore entra nella **turbina** e spingendo le palette la fa girare; nella turbina il vapore si espande e produce energia meccanica.

Tramite l'asse di trasmissione la turbina aziona il **generatore elettrico** trasferendogli l'energia meccanica; il generatore elettrico trasforma l'**energia meccanica** in **energia elettrica** e la invia alla **rete di trasmissione** tramite il trasformatore elevatore di tensione ed i conduttori in uscita. L'energia elettrica in uscita dal generatore ha una tensione di 15 000 volt ed una intensità di corrente di 16 000 ampere.

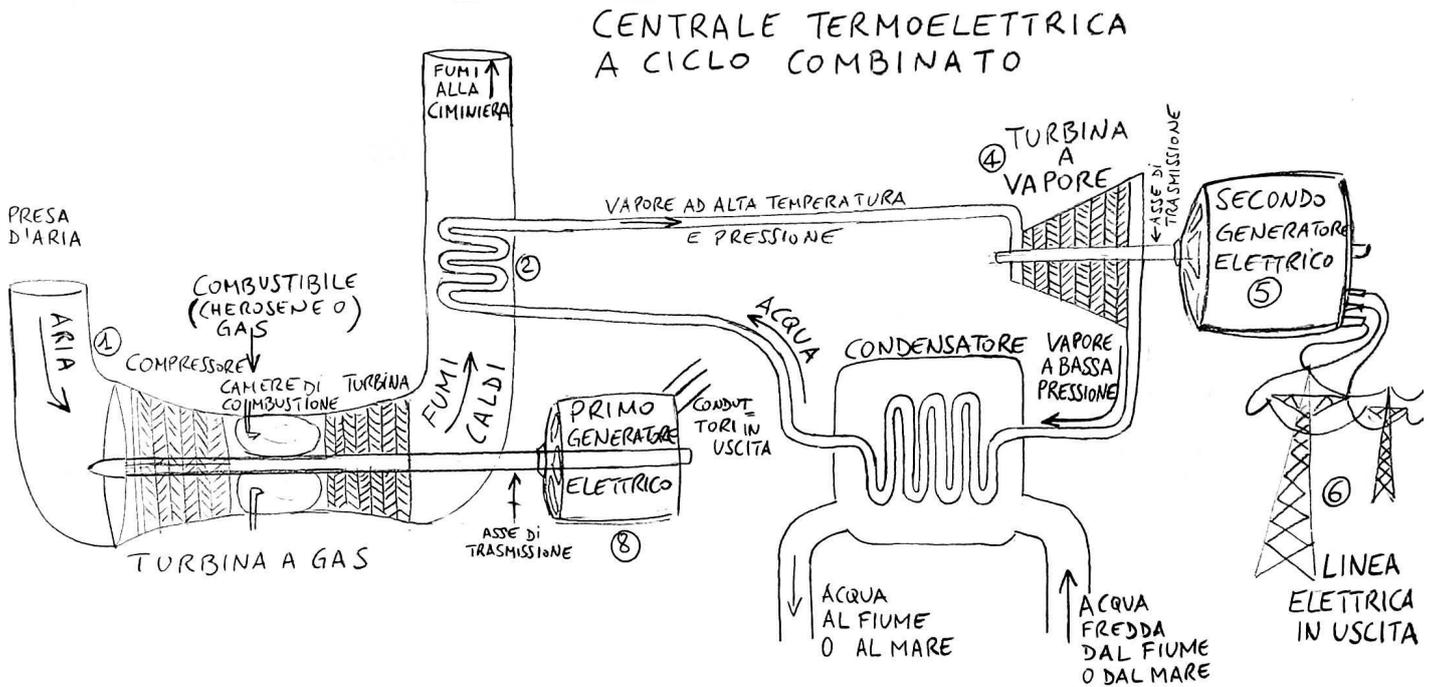
Il **vapore** invece esce dalla turbina a **pressione bassa**, entra nel **condensatore** dove viene raffreddato per tornare allo stato liquido. Il condensatore è uno scambiatore di calore nel quale l'**acqua** del circuito della centrale e quella di mare o di fiume non si mescolano; attraverso il condensatore **la parte di calore non convertita in energia meccanica viene scaricata nell'ambiente** (inquinamento termico).

I **fumi** della combustione vengono **filtrati** da un impianto molto complesso, in modo da eliminare parte delle sostanze inquinanti (composti di **zolfo**, ossidi di **azoto NOx**, polveri sottili PM10), e scaricati nell'atmosfera. L'**anidride carbonica (CO₂)** prodotta dalla combustione invece viene scaricata integralmente nell'atmosfera ed è la causa dell'**effetto serra** e quindi del **cambiamento climatico** che sta interessando la terra.

Rendimento della centrale termoelettrica tradizionale: può arrivare anche a $\eta=47\%$

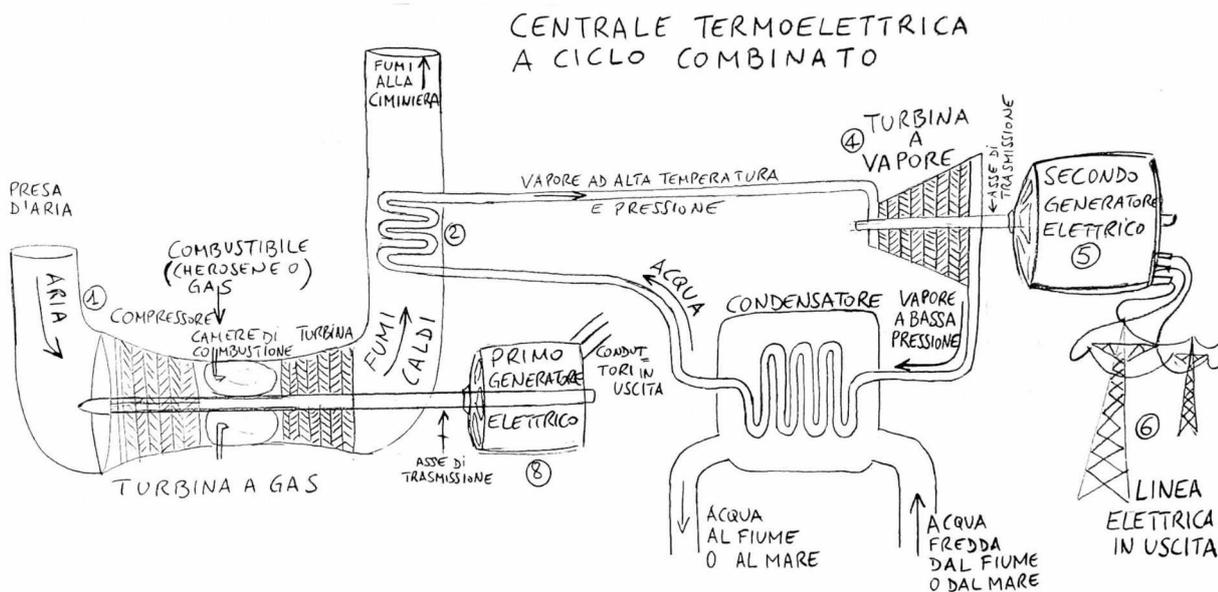
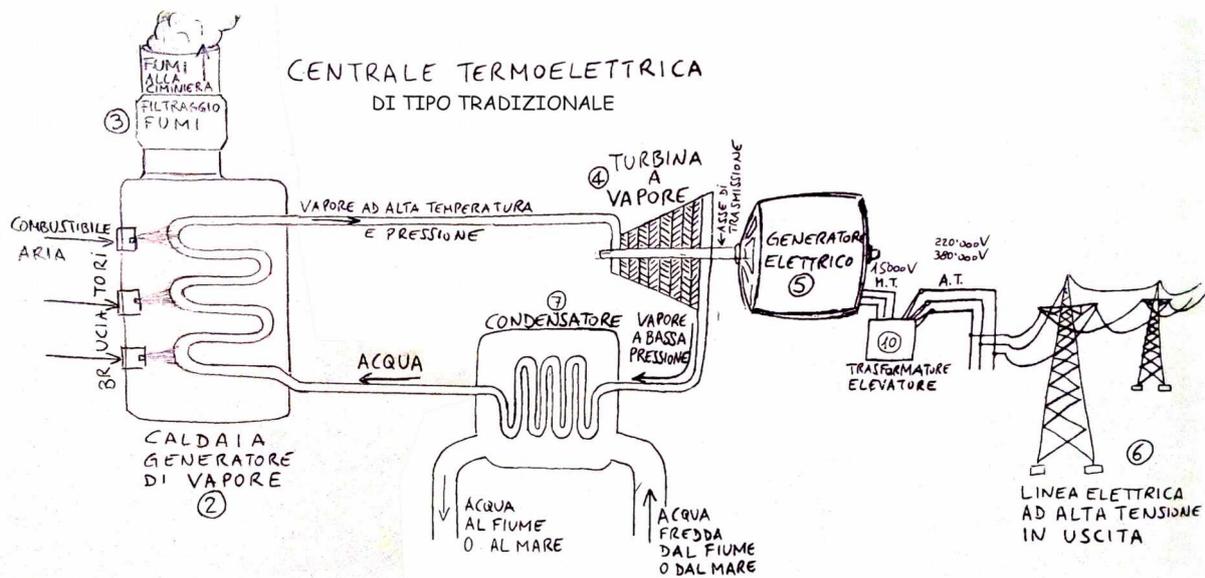


La centrale termoelettrica a ciclo combinato



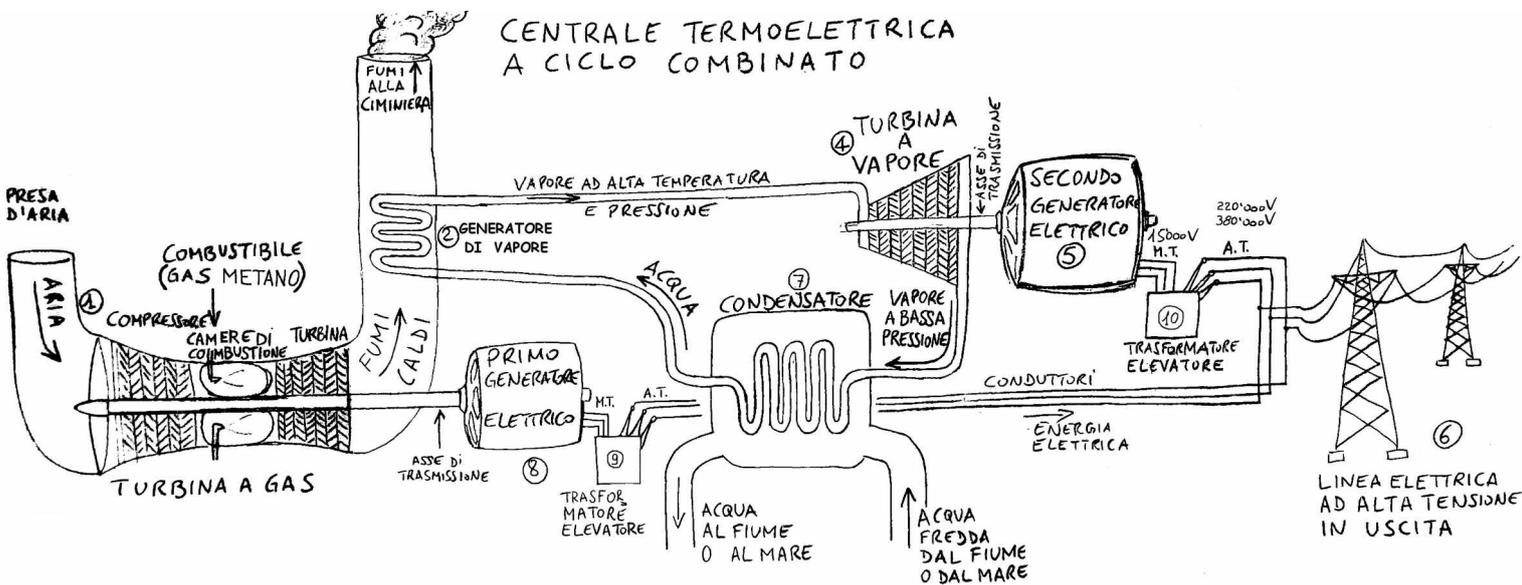
Centrale a ciclo combinato

La centrale a ciclo combinato è l'unione di una centrale turbogas e una di centrale termoelettrica tradizionale. Essa possiede due generatori elettrici: uno è azionato da una turbina a gas, l'altro da una turbina a vapore.



Confronto tra centrale termoelettrica tradizionale e centrale a ciclo combinato.

Funzionamento: nella prima parte della centrale, una **turbina a gas** produce energia meccanica che aziona un **primo generatore elettrico**. I gas combusti caldi all'uscita della turbina contengono però ulteriore energia, oltre quella che è stata convertita in energia meccanica dalla turbina stessa. Questa energia ulteriore viene usata per scaldare dell'acqua (2, generatore di vapore) e trasformarla in vapore surriscaldato ad alta temperatura e pressione, analogamente a quanto accade nella caldaie delle centrali termoelettriche tradizionali. Allo stesso modo, il vapore viene poi inviato ad una turbina a vapore (4), che aziona un **secondo generatore elettrico** (5).



Centrale a ciclo combinato (sono rappresentati anche i due trasformatori elevatori di tensione)

Vantaggi:

- rendimento più elevato rispetto alla centrale termoelettrica di tipo tradizionale; il **rendimento** della centrale a ciclo combinato può arrivare anche a $\eta=58\%$ (p. 154-155).

Questo significa **minore consumo di combustibile e minore inquinamento;**

- questa centrale è alimentata a gas metano, perciò le emissioni di sostanze inquinanti sono diverse rispetto alle centrali termoelettriche tradizionali alimentate a carbone o olio combustibile: questa centrale non emette composti di **zolfo** e ossidi di **azoto NOx**; i fumi della combustione non vengono filtrati.

Svantaggi:

- anche se in quantità un po' minore, questa centrale comunque **scarica anidride carbonica (CO₂)** nell'atmosfera, il che costituisce problema di gravità sempre maggiore;
- brucia un combustibile pregiato e perciò più costoso dell'olio combustibile.

Tensione e Corrente elettrica

Per descrivere l'**energia elettrica** e le macchine che la trasformano e utilizzano si utilizzano due grandezze fisiche che sono la **tensione** e l'**intensità di corrente**.

DEFINIZIONI:

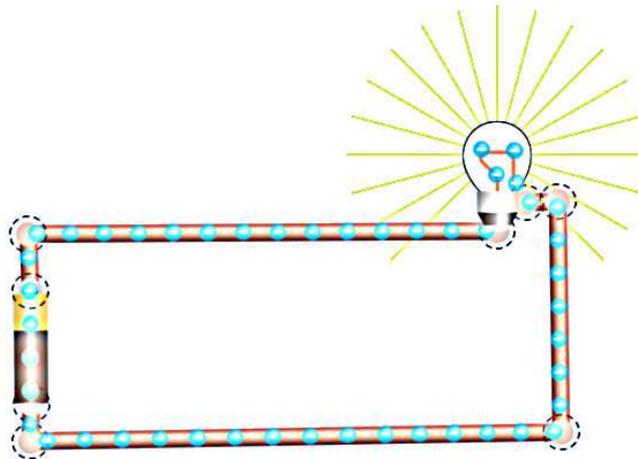
Tensione: è la misura di quanta energia viene trasportata da ogni carica elettrica (elettrone) che si muove in un conduttore.

Unità di misura: volt, simbolo V.

Intensità di corrente: è la quantità di cariche elettriche che scorrono in un conduttore (quantità di carica elettrica che passa in un secondo o numero di elettroni che passano in un secondo).

Unità di misura: ampère, simbolo A.

Esempio 1: per capire meglio i due concetti consideriamo un semplice circuito elettrico:



Nel filo circolano le particelle cariche (elettroni) che trasportano energia. Ogni elettrone passando nel generatore (batteria) riceve da questo un pacchettino di energia e lo porta lungo il filo conduttore; quando arriva alla lampadina ogni elettrone cede il proprio pacchetto alla lampadina stessa, poi torna indietro. In questo modo il circuito elettrico trasferisce l'energia elettrica dal generatore verso l'utilizzatore, che in questo caso è la lampadina.

L'**intensità di corrente** è la quantità di elettroni che circolano,

la **tensione** è la grandezza del pacchetto di energia che ogni elettrone trasporta.

Una stessa **quantità di energia elettrica** può essere quindi trasportata in **due modi diversi**:

- **con pochi elettroni** che hanno ciascuno **molta energia**

(piccola intensità di corrente e alta tensione);

- **molti elettroni** che hanno ciascuno **poca energia**

(grande intensità di corrente e piccola tensione).

Conviene usare **pochi elettroni**, ciascuno dei quali porti **molta energia**, perché per far passare molti elettroni servono fili grossi, che sono costosi.

Perché alcuni dispositivi elettrici (utensili e giocattoli a batteria, torcie elettriche, piccoli motorini, impianto elettrico delle automobili) sono innocui, e altri invece sono pericolosi?

La ragione sta nel valore della tensione elettrica con cui funzionano. Per capire meglio questo vediamo degli esempi di **valori tipici di tensione** in vari dispositivi elettrici:

dispositivo	tensione V in volt
batteria stilo ricaricabili Ni-MH	V = 1,2 V
batteria stilo non ricaricabili alcaline	V = 1,5 V
batteria a pastiglia al litio non ricaricabile	V = 3 V
batteria del telefonino al litio ricaricabile	V = 3 V
batteria auto	V = 12 V
impianto elettrico di casa	V = 230 V
linea elettrica aerea rurale a media tensione (su pali)	V = 20 000 V
linea elettrica aerea principale ad alta tensione (con i tralicci alti)	V = 380 000 V

IMPORTANTE: tensioni superiori a 50 volt possono essere mortali per l'uomo.

Per quanto riguarda l'**intensità di corrente**, quando è alta non rappresenta un pericolo, ma solo un **costo**, servono conduttori (rame) più grossi, e quindi costosi.

Esempi di **valori tipici di intensità di corrente** in vari dispositivi elettrici:

dispositivo	corrente I in ampère
caricabatteria del telefonino: corrente assorbita dal caricabatterie dalla rete elettrica corrente fornita dal caricabatterie al telefonino	$I = 100 \text{ mA} = 0,1 \text{ A}$ $I = 1 \text{ A}$
alimentatore del pc (corrente fornita dall'alimentatore al PC)	$I = 3 \text{ A}$
batteria auto (corrente fornita dalla batteria al motorino di avviamento alla messa in moto, batteria con capacità 70 Ah = 70 Ampère-ora)	$I = 700 \text{ A}$
impianto elettrico di casa	$I = 16 \text{ A}$
linea elettrica aerea rurale a media tensione (su pali)	$I = 50 \text{ A}$
linea elettrica aerea principale ad alta tensione (su tralicci alti)	$I = 1000 \text{ A}$

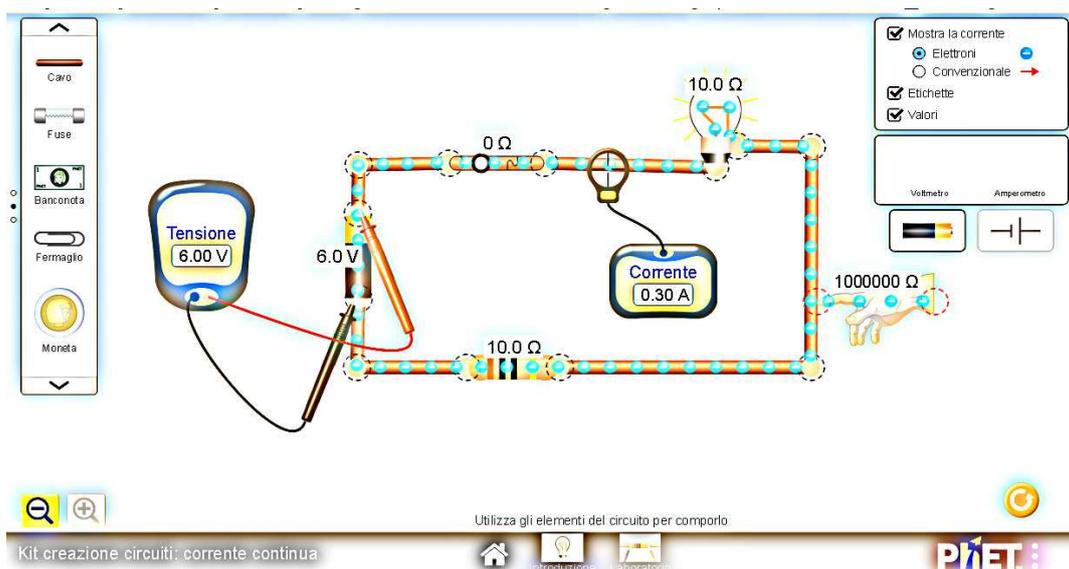
Simulatore di circuiti elettrici

Permette di comporre e calcolare in modo immediato semplici circuiti elettrici, con i quali sperimentare la legge di Ohm e i collegamenti in serie ed in parallelo.

https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_it.html?download

(per usarlo basta scaricare il file .html sul PC e farci click sopra per aprirlo col browser)

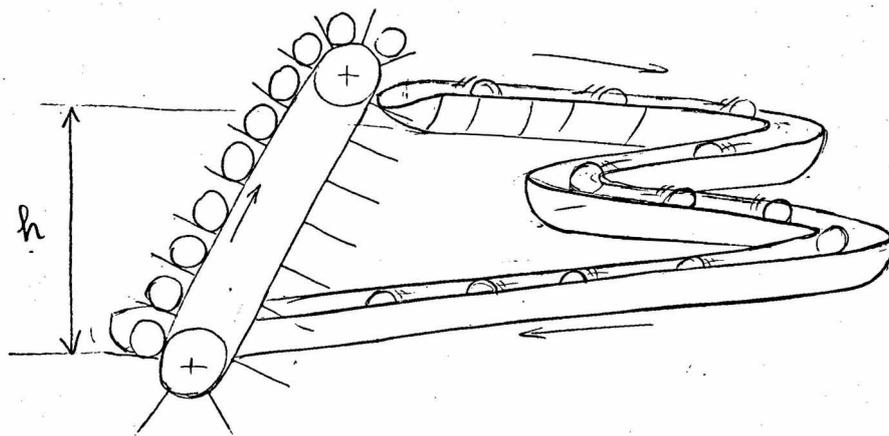
<https://phet.colorado.edu/it/simulation/circuit-construction-kit-dc>



Per chiarire i concetti di **intensità di corrente elettrica** e di **tensione** nelle pagine seguenti consideriamo due similitudini tra il circuito elettrico e altri fenomeni fisici:

- paragone tra **circuito elettrico** e **pista di biglie**;
- paragone tra **circuito elettrico** e **circuito idraulico** .

Paragone tra circuito elettrico e pista di biglie in discesa con ascensore



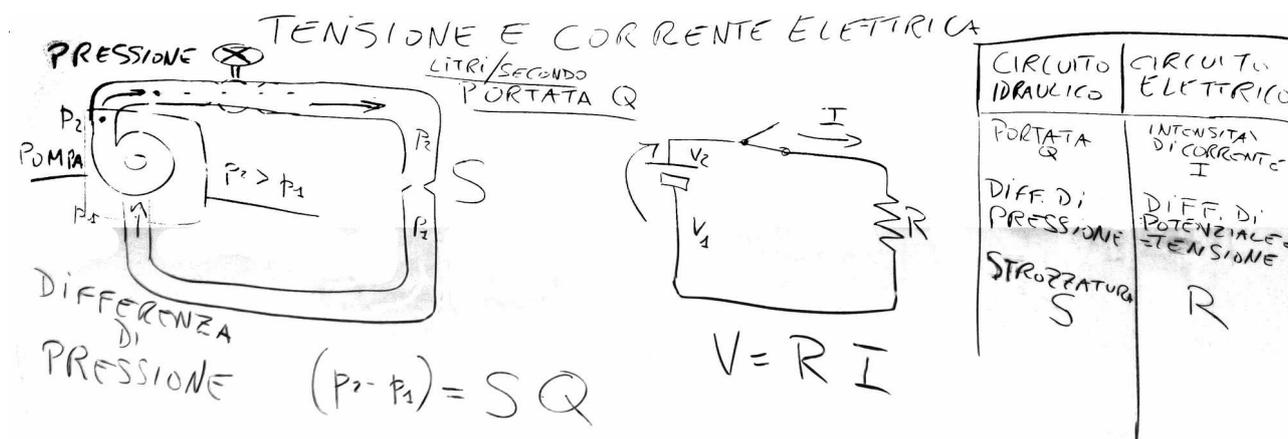
Se la pista delle biglie fosse tutta alla stessa quota, le biglie non circolerebbero ma rimarrebbero ferme. Perché circolino, occorre:

- che una parte della pista sia in alto;
- che una volta che le biglie siano giunte al punto più basso qualcosa (ascensore) fornisca a ciascuna biglia un po' di energia (un "pacchettino") per tornare in alto; questa energia sarà conservata dalle biglie ed impiegata per vincere l'attrito incontrato nel scendere lungo la pista.



Allo stesso modo, anche gli **elettroni** (cariche elettriche) hanno bisogno di energia per vincere la resistenza che il conduttore oppone alla loro circolazione; Nel **circuito elettrico** il **generatore** (dinamo o batteria) ha la stessa funzione dell'**ascensore** nella pista delle biglie: l'ascensore portando in alto le biglie fornisce loro l'energia necessaria per circolare nella pista; analogamente il **generatore di tensione** fornisce agli elettroni l'**energia necessaria per circolare** nel circuito; la **tensione del generatore** è analoga all'**altezza** alla quale vengono portate le biglie; maggiore è la tensione del generatore, più grande è il pacchetto dato a ciascun elettrone.

Paragone tra circuito elettrico e circuito idraulico



Per ogni elemento e per ogni grandezza fisica del circuito elettrico abbiamo in corrispondenza un elemento e una grandezza fisica del circuito idraulico; i due circuiti funzionano in modo molto simile:

Circuito idraulico	Circuito elettrico
tubo	filo elettrico (conduttore)
liquido	cariche elettriche (elettroni)
Pompa	Generatore di tensione (dinamo, batteria)
Incremento di pressione ($p_2 - p_1$) fornito dalla pompa	Tensione ai capi del generatore V
Portata Q (= quanti litri al secondo passano nel tubo)	Intensità di corrente I (= quanta carica elettrica passa ogni secondo)
Strozzatura del tubo S	Resistenza elettrica del filo R
rubinetto	interruttore

La pressione dell'acqua del tubo è analoga alla tensione elettrica, maggiore è l'incremento di pressione fornito dalla pompa e maggiore è la quantità di acqua che passa nel circuito idraulico ogni secondo (portata); allo stesso modo **maggiore è la tensione** del generatore e **maggiore è l'intensità di corrente** che circola nel circuito elettrico:

legge di Ohm: $V = R \times I$; la legge di Ohm si può scrivere anche esplicitando

l'intensità di corrente: $I = \frac{1}{R} \cdot V$ → se aumenta **V** aumenta anche **I**.

Esempio:

Interruttore aperto, tensione 10 Volt, resistenza 2 Ohm:
chiudendo l'interruttore circola una corrente di 5 ampère;

tensione 20 Volt, resistenza 2 Ohm:
chiudendo l'interruttore circola una corrente di 10 ampère.

Potenza elettrica

In qualunque circuito o apparecchio elettrico:

$$\text{Potenza} = \text{tensione} \times \text{intensità di corrente} \Rightarrow P = V \times I$$

Unità di misura:

$$\text{Potenza [watt, W]} = \text{tensione [volt, V]} \times \text{intensità di corrente [ampère, A]}$$

Esempio di **valori tipici** di **potenza** di alcuni dispositivi:

- caricabatteria del telefonino $P = 0,1 \text{ A} \times 230 \text{ V} = 23 \text{ W}$ (potenza assorbita dal caricabatterie dalla rete elettrica); $P = 1 \text{ A} \times 5 \text{ V} = 5 \text{ W}$ (potenza fornita al telefonino);
- alimentatore del pc: $P = 3 \text{ A} \times 20 \text{ V} = 60 \text{ W}$ (potenza fornita al PC) (20V);
- Batteria auto: $P = 700 \text{ A} \times 12 \text{ V} = 8400 \text{ W} = 8,4 \text{ kW}$ (potenza fornita al motorino di avviamento (70 Ah)).
- Impianto elettrico di casa: $P = 16 \text{ A} \times 230 \text{ V} = 3680 \text{ W} = 3,68 \text{ kW}$.
- Linea elettrica di campagna (con pali): $P = 50 \text{ A} \times 20 \text{ kV} = 1000 \text{ kW} = 1 \text{ MW} = 1 \text{ megawatt}$.
- Linea elettrica principale (con i tralicci alti): $P = 1000 \text{ A} \times 400 \text{ kV} = 400 \text{ MW} = 400 \text{ megawatt}$.

Tensione, corrente e potenza di una **centrale elettrica** confrontate con **impianto domestico**

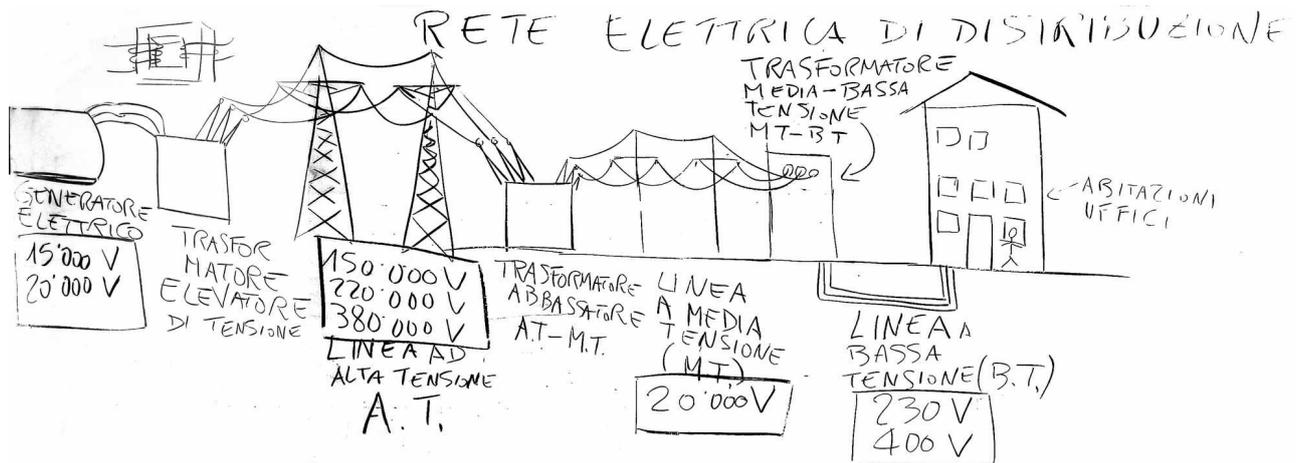
Impianto di casa: tensione 230 volt, corrente 16 ampère,
potenza = $220 \times 16 = 3800 \text{ watt} \approx 3 \text{ kilowatt} = 3 \text{ kW}$;

singolo **generatore elettrico** di **centrale elettrica**:

tensione $V = 15\,000 \text{ volt}$, corrente $I = 16\,000 \text{ ampere}$,
potenza = $V \times I = 15\,000 \times 16\,000 = 250\,000\,000 \text{ watt} = 250 \text{ megawatt} = 250 \text{ MW}$ =
= circa 80 000 impianti domestici!

Rete di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica

(sul libro pag 134-135).



La rete elettrica di trasmissione e distribuzione parte dal **generatore elettrico della centrale** e arriva fino alle utenze (abitazioni, uffici, ecc.). La tensione viene prima sollevata dal **trasformatore elevatore di tensione**; questo alimenta la **linea ad alta tensione (A.T.)**, che trasporta l'energia elettrica su lunghe distanze. Dopo la linea ad alta tensione (A.T.) la tensione viene riabbassata nel **trasformatore A.T. - M.T.**. Da questo si diramano varie **linee a media tensione (M.T.)**; al termine di ogni linea M.T. c'è una cabina con un **trasformatore M.T - B.T.** che abbassa ulteriormente la tensione fino al livello di **bassa tensione (B.T.)**; dalla cabina partono i conduttori che arrivano alle utenze (case, uffici, ecc.).

Perché conviene alzare la tensione nelle linee di trasmissione dell'energia elettrica?

La potenza elettrica P che viene trasportata dalla linea elettrica dipende dalla tensione V della linea e dalla intensità di corrente I che passa nella linea: infatti la potenza elettrica trasportata si può calcolare con la formula $P = V \times I$.

Quando la corrente elettrica circola nei conduttori delle linee elettriche li scalda, quindi una parte della potenza elettrica trasportata viene dissipata (= sprecata) poiché si trasforma in calore.

La potenza trasformata in calore aumenta molto all'aumentare del valore di corrente I che passa nella linea. Conviene allora trasportare la potenza elettrica P utilizzando correnti I piccole e tensioni V alte, in modo che la potenza trasportata P sia alta ma la parte sprecata in calore sia la minore possibile.

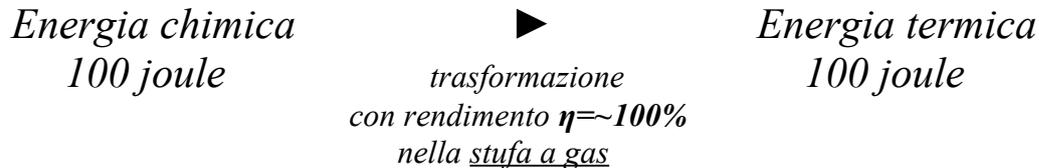
Perché l'energia elettrica è preziosa

...e **NON conviene trasformarla in energia termica** (non bisogna usarla per scaldare le cose!):

Per capire come usare bene l'energia elettrica **confrontiamo due dispositivi** che **producono entrambi calore**, ma a partire da tipi diversi di energia: confrontiamo una **stufa a gas** con una **stufa elettrica**.

Stufa a gas:

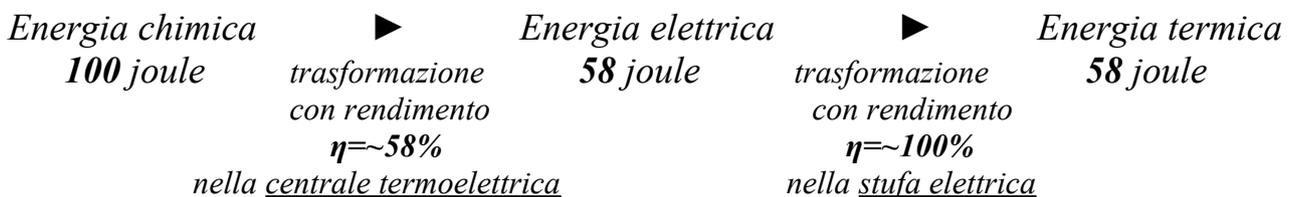
la stufa converte l'**energia chimica** del combustibile (gas) in energia termica (calore); questa conversione ha un rendimento molto alto, vicino al 100%: se per esempio la stufa brucia una quantità di gas che contiene 100 Joule di energia chimica fornisce all'ambiente circostante praticamente 100 Joule di energia termica (calore).



Stufa elettrica:

In questo caso il combustibile viene bruciato nella centrale termoelettrica (per esempio una centrale a ciclo combinato) e la sua energia chimica viene convertita in energia elettrica con un rendimento del 58%; se la centrale brucia una quantità di gas che contiene 100 joule di energia chimica produce 58 joule di energia elettrica.

La stufa elettrica a resistenza converte l'energia elettrica in energia termica (calore); questa conversione ha un rendimento molto alto, vicino al 100%: i 58 joule di energia elettrica forniscono all'ambiente circostante praticamente 58 joule di energia termica (calore).



Perciò **a parità di combustibile consumato la stufa a gas produce molto più calore**; oppure, per produrre lo stesso calore, la stufa a gas deve bruciare molto meno combustibile.

Per questa ragione le stufette elettriche possono costituire una forma di riscaldamento ausiliario, da usare per periodi ed in ambienti limitati, ma non possono essere l'unico sistema di riscaldamento in un edificio.

Dal confronto dei due tipi di stufa si vede che **non conviene utilizzare l'energia elettrica per produrre calore**.

L'**energia elettrica** è quindi una forma di **energia pregiata**, che è troppo preziosa per essere usata trasformandola in calore.

Anche se non conviene dal punto di vista energetico, talvolta si utilizzano apparecchi che trasformano l'energia elettrica in calore per ragioni di praticità. Per esempio un asciugacapelli a gas sarebbe poco funzionale ed anche critico dal punto di vista della sicurezza.

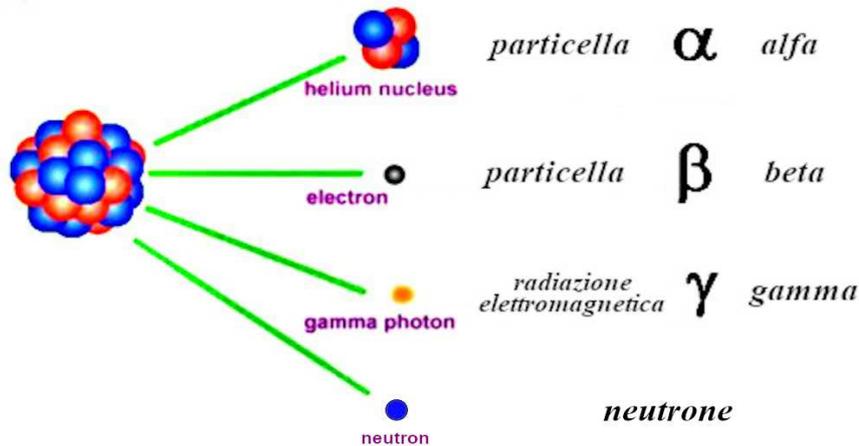
Nel caso dei forni da cucina, il forno elettrico è facilmente azionabile con un timer, mantiene la temperatura in modo più uniforme e la regola in modo più semplice e preciso di un forno a gas.

In ogni caso, sia il forno che l'asciugacapelli funzionano per un tempo molto più ridotto rispetto all'impianto di riscaldamento di un edificio, e trattano quantità di aria molto più ridotte.

Energia nucleare

Prima di affrontare la centrale nucleare, ripassiamo i concetti di **elemento chimico**, **isòtopo**, **radioattività**, **fissione nucleare**.

Cosa sono la **radioattività** e il **decadimento radioattivo**



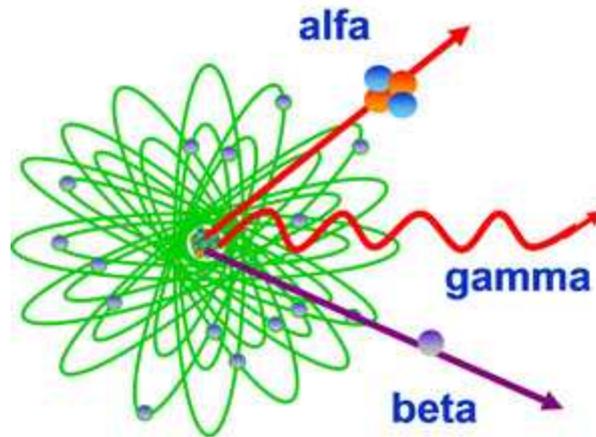
Emissioni radioattive in seguito a decadimento del nucleo di un atomo di un elemento chimico.

Analizziamo qui quattro tipi di radioattività che **hanno origine dal nucleo** degli atomi in seguito a delle trasformazioni dette **decadimento**:

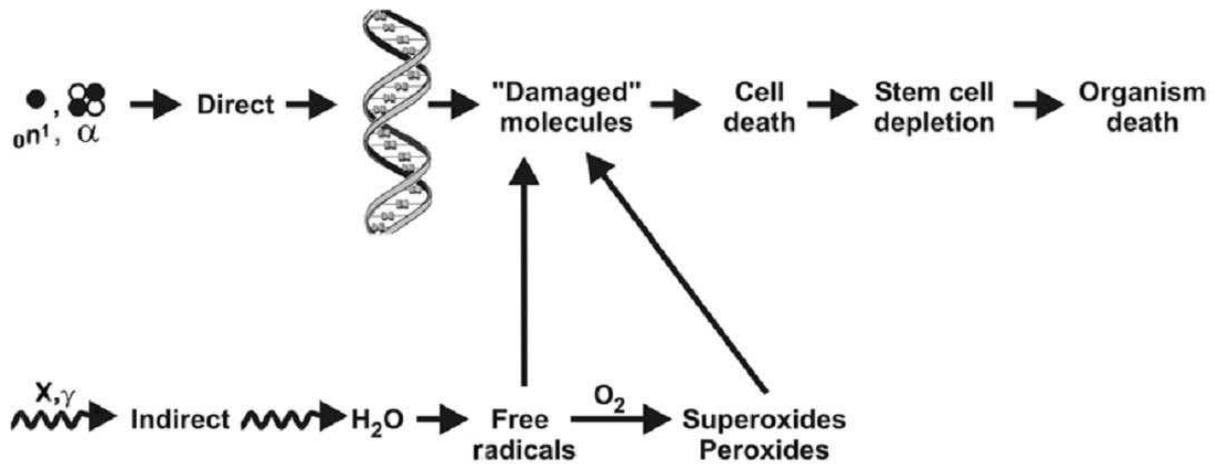
- emissione di **particella alfa**: la particella alfa è costituita da **due protoni** e **due neutroni**: l'atomo che la emette si trasforma in un atomo di un elemento chimico che ha due protoni e due neutroni in meno rispetto all' elemento chimico di partenza;
- emissione di **particella beta**: uno dei neutroni del nucleo si scompone in un protone ed un **elettrone**: questo viene espulso a gran velocità dal nucleo per opera delle forze nucleari (interazioni nucleari deboli, normalmente gli elettroni non si trovano mai nel nucleo);
- emissione di **radiazioni gamma**: i protoni e i neutroni nel nucleo "si ricompattano", espellendo **energia** sotto forma di **radiazione elettromagnetica** altamente energetica. Normalmente le radiazioni elettromagnetiche (onde radio, luce, raggi X) non vengono emesse dal nucleo, ma dagli elettroni, quando questi saltano tra le varie orbite; in questo caso invece la radiazione viene emessa dal nucleo, e contiene **pacchetti di energia** molto **grandi** (anche le onde elettromagnetiche trasportano energia in pacchetti, come abbiamo visto succedere per le cariche elettriche nei circuiti elettrici);
- emissione di **neutroni**: il nucleo espelle un neutrone.

Notare che queste trasformazioni avvengono nel **nucleo**, perciò sono dette **reazioni nucleari**, e in alcuni casi determinano la **trasformazione di un elemento chimico in un altro elemento chimico** (ciò che identifica un elemento chimico è il numero di protoni).

Nelle **reazioni chimiche** invece i diversi elementi chimici possono combinarsi nei modi più vari, ma non si trasformano mai uno nell'altro.



Le emissioni radioattive hanno origine dal **nucleo** degli atomi



Danni biologici causati dalla radioattività

n^1 è un neutrone, α è una particella alfa, X e γ sono raggi X e raggi gamma

Effetti della **radioattività** su organismi viventi:

le emissioni radioattive, insieme ai raggi X, sono dette radiazioni **ionizzanti**: se colpiscono le cellule di un organismo vivente producono, per via diretta o indiretta, danni al **DNA**;

- se questi danni sono estesi a molte cellule causano **tumore**;
- se la **dose** di radiazioni è **alta** e assorbita in poco tempo causa **sindrome acuta da radiazioni e morte**.

Origine della radioattività: gli **isòtopi** degli **elementi chimici**

Tavola periodica degli elementi interattiva: <https://www.ptable.com/?lang=it#Isotope>

The image shows an interactive periodic table with various decay modes indicated by colored boxes around elements. A callout box for Carbon-12 (¹²C) shows its atomic number (6) and mass number (12). The table includes a legend for decay modes: alpha (α), beta minus (β-), beta plus (β+), proton emission (p), neutron emission (n), spontaneous fission (SF), and stable (Stable). The legend also includes symbols for positron emission (β+), electron capture (K+), and stable (Stable). The table is color-coded by groups: alkali metals (yellow), alkaline earth metals (orange), transition metals (green), and noble gases (blue). The callout box for Carbon-12 shows the element symbol C, atomic number 6, and mass number 12.011.

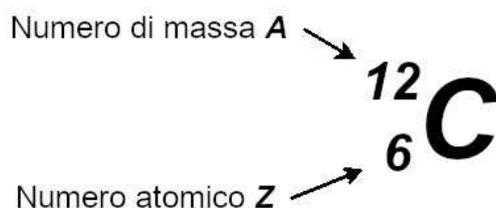
Gli elementi chimici nella **tavola periodica** sono ordinati per **numero atomico Z** crescente.

Il numero atomico Z è il numero di protoni contenuti nel nucleo

Dal **numero atomico** dipende il **comportamento chimico** dell'elemento, poiché questo dipende del numero di elettroni; in un atomo neutro il numero di protoni (che sono carichi positivamente) e di elettroni (che sono carichi negativamente) è uguale.

Il chimico russo Mendeleev, che inventò la tavola, si accorse che alcuni elementi, che lui dispose nella medesima colonna, hanno proprietà chimiche molto simili: questo perché, pur avendo diverso numero di elettroni (atomico Z), hanno lo stesso numero di elettroni nello strato esterno.

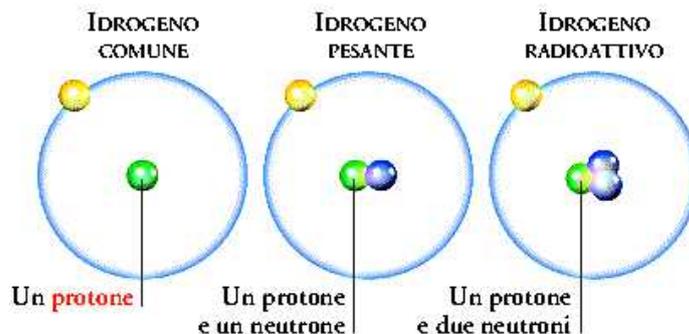
Il numero di massa A è la somma del numero di protoni e di neutroni contenuti nel nucleo.



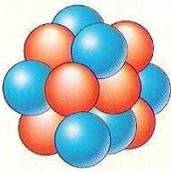
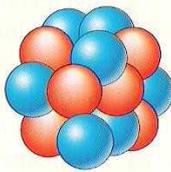
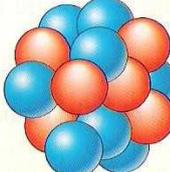
Indicazione del numero atomico Z e del numero di massa A (atomo di Carbonio, simbolo C)

Isòtopo: è una variante di un **elemento chimico** che ha un **diverso numero di neutroni nel nucleo.**

esempio: isotopi dell'**Idrogeno**: **Deuterio** e **Trizio**:



esempio: isotopi del **Carbonio**:

CARBONIO 12	CARBONIO 13	CARBONIO 14
		
Protoni 6	Protoni 6	Protoni 6
Neutroni 6	Neutroni 7	Neutroni 8
Elettroni 6	Elettroni 6	Elettroni 6
Numero atomico 6	Numero atomico 6	Numero atomico 6
Numero di massa 12	Numero di massa 13	Numero di massa 14

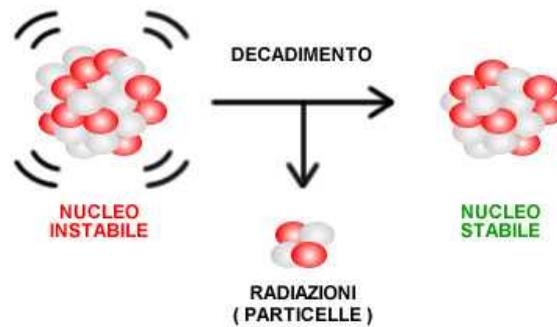
Da Wikipedia (<https://it.wikipedia.org/wiki/Isotopo>): <<Di solito gli isotopi dello stesso elemento sono presenti in natura in diverse concentrazioni: uno in alta concentrazione e l'altro, normalmente, in tracce. Per esempio in natura il carbonio si presenta come una miscela di tre isotopi con numero di massa pari a 12, 13 e 14: ^{12}C , ^{13}C e ^{14}C (quest'ultimo è radioattivo ed è di origine cosmogenica).

Le loro abbondanze rispetto alla quantità globale di carbonio sono rispettivamente:

98,89%, 1,11%, tracce (1 atomo di ^{14}C ogni circa $10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$ atomi di ^{12}C).>>

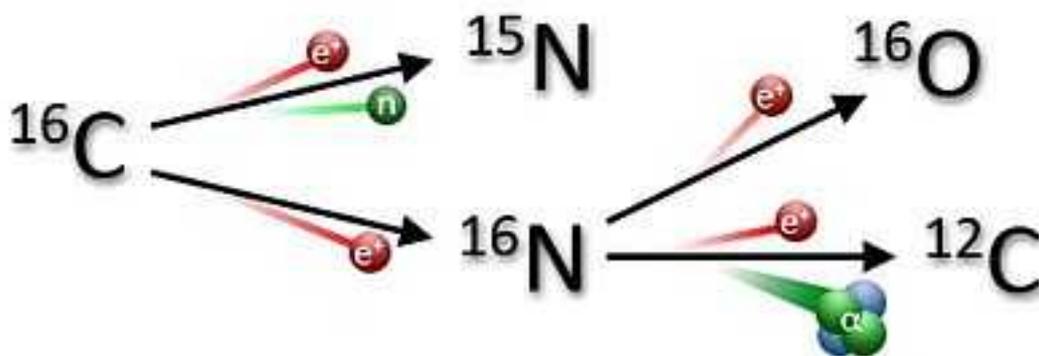
Quindi il carbonio presente in natura (nell'atmosfera, sotto forma di anidride carbonica CO_2 , nelle piante →cellulosa, nelle nostre cellule →negli zuccheri e nelle proteine) è quasi tutto Carbonio12 ^{12}C , questo perché gli altri isotopi sono instabili, e col tempo si trasformano nella forma stabile ^{12}C emettendo radioattività.

Gli isotopi instabili degli elementi chimici si trasformano negli isotopi stabili tramite il decadimento radioattivo.



WWW.ANDREAMININI.COM

Decadimento radioattivo.



Decadimento del Carbonio 16 ^{16}C .

Esempio: decadimento del **Carbonio 16** ^{16}C (figura sopra):

- un atomo di **Carbonio 16** (isotopo instabile del Carbonio che ha 6 protoni e 10 neutroni) in seguito ad un **decadimento beta** perde un neutrone e acquista un protone, espelle poi un **neutrone**, diventando così **Azoto 15** ^{15}N (7 protoni e 8 neutroni), un isotopo dell'Azoto poco diffuso ma stabile;
- in alternativa il **Carbonio 16** in seguito ad un **decadimento beta** perde un neutrone e acquista un protone, diventando così **Azoto 16** ^{16}N (7 protoni e 9 neutroni), un isotopo instabile dell'azoto; l'**Azoto 16** a sua volta può decadere in due modi:
 - in seguito ad un **decadimento beta** perde un neutrone e acquista un protone, diventando così **Ossigeno 16** ^{16}O (8 protoni e 8 neutroni), che è un elemento stabile;
 - in seguito ad un decadimento beta perde un neutrone e acquista un protone, contemporaneamente emette una particella alfa, diventando così Carbonio 12 ^{12}C (6 protoni e 6 neutroni), che è un elemento stabile, eravamo partiti da un Carbonio instabile e siamo arrivati ad una forma stabile.

Ciascun **isòtopo instabile** ha un suo **tempo** caratteristico che è necessario perchè si **trasformi in elementi stabili** (e quindi **smetta** di essere **radioattivo**): questo tempo può andare da **frazioni di secondo** a vari **minuti** a vari **mesi** o a **decine di migliaia di anni**: alcuni isòtopi **rimangono radioattivi** per **30 000 anni**.

Il **tempo di dimezzamento** è il tempo necessario perchè data una quantità iniziale di un **isòtopo radioattivo**, la metà della quantità iniziale si trasformi in altri elementi (che non è detto che siano ancora stabili).

Esempio: il **Cesio 137** (un isòtopo fortemente radioattivo derivato dall' Uranio) ha un **tempo di dimezzamento** di **30,17 anni**: se per esempio abbiamo 10 grammi di Cesio 137 dopo 30 anni metà si sarà trasformata in altri elementi chimici, e ne saranno rimasti solo 5 grammi; dopo 60 anni si sarà trasformata la metà della metà, e ne rimarranno 2,5 grammi; dopo 90 anni ne avremo 1,25 grammi, e così via.

(<https://it.wikipedia.org/wiki/Cesio-137>)

Durante il **decadimento radioattivo** vengono inoltre prodotte **grandi quantità di calore**: questo processo è **inarrestabile** e, come vedremo, costituisce il principale **problema** nella gestione degli **incidenti nelle centrali nucleari**, problema a cui non si è trovata alcuna soluzione.

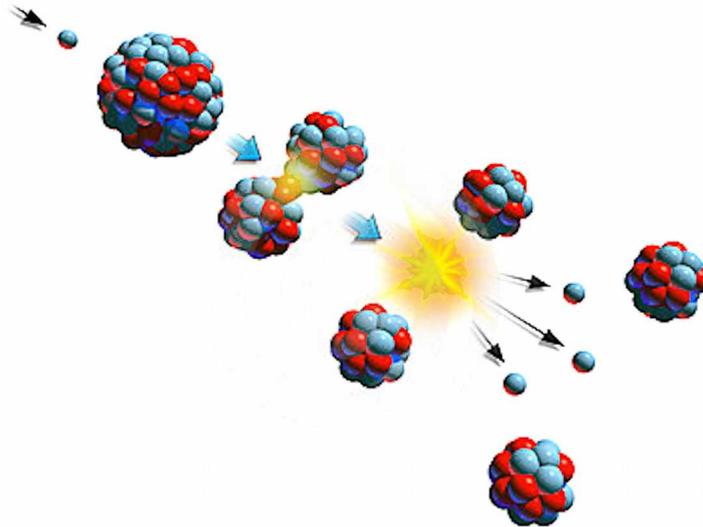
I **rottami metallici** in ingresso alle acciaierie, così come i **rifiuti** in ingresso alle **discariche** e agli **inceneritori** nei paesi che hanno la capacità di farlo vengono sempre controllati con i **rivelatori** di radioattività (contatore Geiger), per evitare che qualcuno possa illecitamente smaltire **materiale radioattivo**, causando una **contaminazione radioattiva** dell'ambiente.

Esempio di rischio contaminazione radioattiva molto vicino a casa nostra: il caso della maglietta radioattiva trovata in ingresso all'inceneritore a Parona Lomellina: (<http://laprovinciapavese.gelocal.it/pavia/cronaca/2017/04/08/news/maglietta-radioattiva-tra-i-rifiuti-allarme-a-parona-1.15164057>)

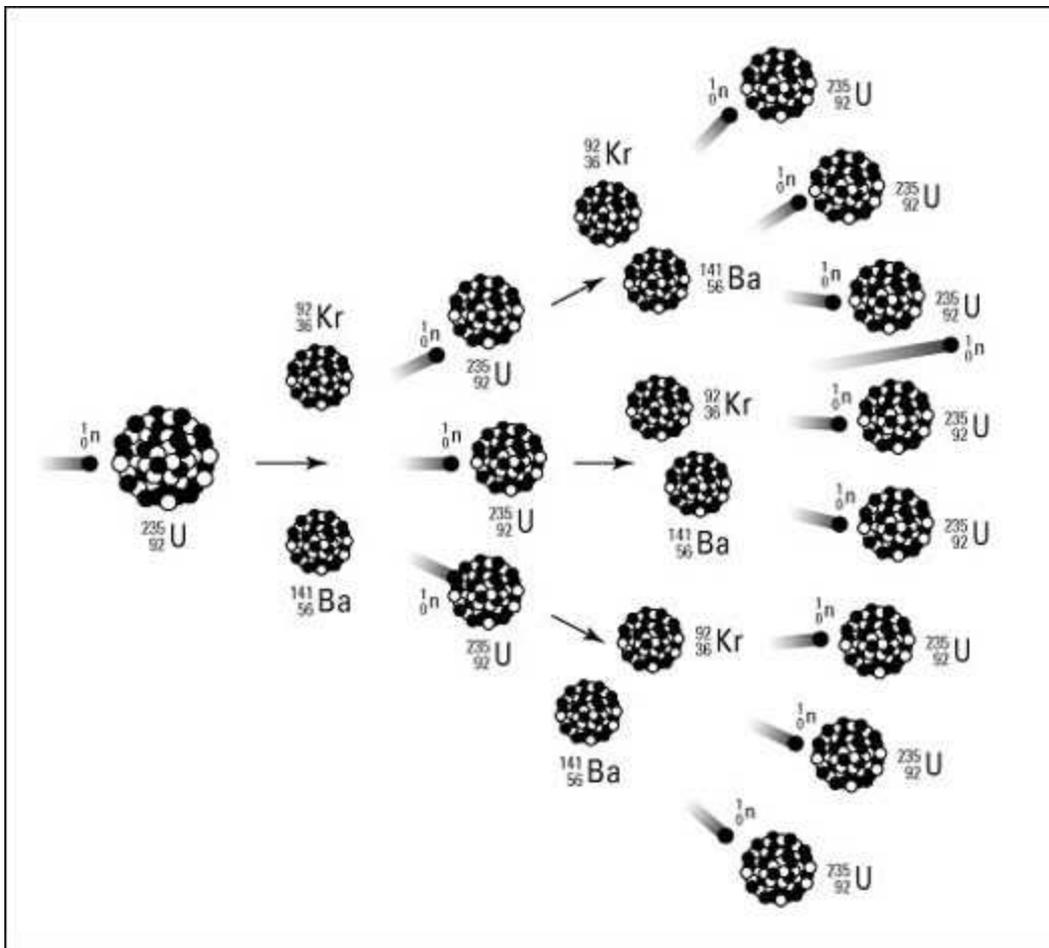
Dopo aver esaminato la radioattività, vediamo ora la reazione nucleare che avviene nelle centrali nucleari.

Fissione nucleare: l'**Uranio 235** ^{235}U è un isòtopo instabile dell'Uranio che ha 92 protoni e 143 neutroni (numero atomico $Z = 92$, numero di massa $A = 235$). L'Uranio è l'elemento più pesante presente in natura, è l'ultimo della tavola periodica degli elementi; gli elementi con numero atomico superiore sono stati creati dall'uomo con esperimenti nucleari in laboratorio.

Se un atomo di **Uranio 235** viene colpito da un **neutrone** non troppo veloce si **spacca** in nuclei più piccoli, l'atomo di Uranio si trasforma allora in altri elementi chimici, che sono fortemente radioattivi; vengono emessi anche altri **neutroni** e una rilevante quantità di energia, che alla fine assume la forma di **calore**. Questa reazione nucleare è detta **fissione nucleare**, ed è quella che produce il **calore** sia nelle **centrali nucleari** che nelle **bombe atomiche**.



Reazione di fissione nucleare

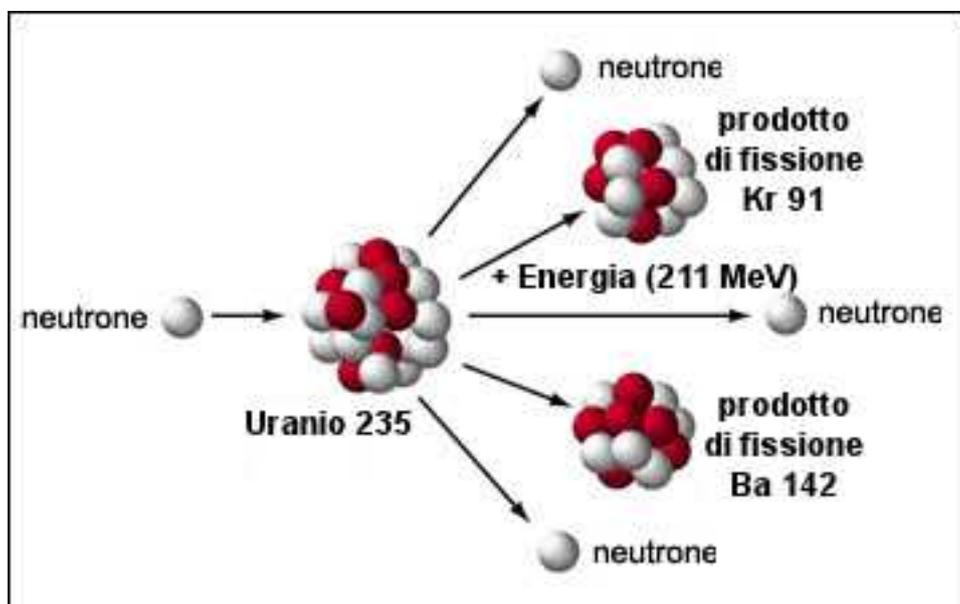


*Reazione a catena di fissione nucleare,
⁹²Kr è Krypton 82, un isotopo instabile del Krypton,
¹⁴¹Ba è Bario 141, un isotopo instabile del Bario*

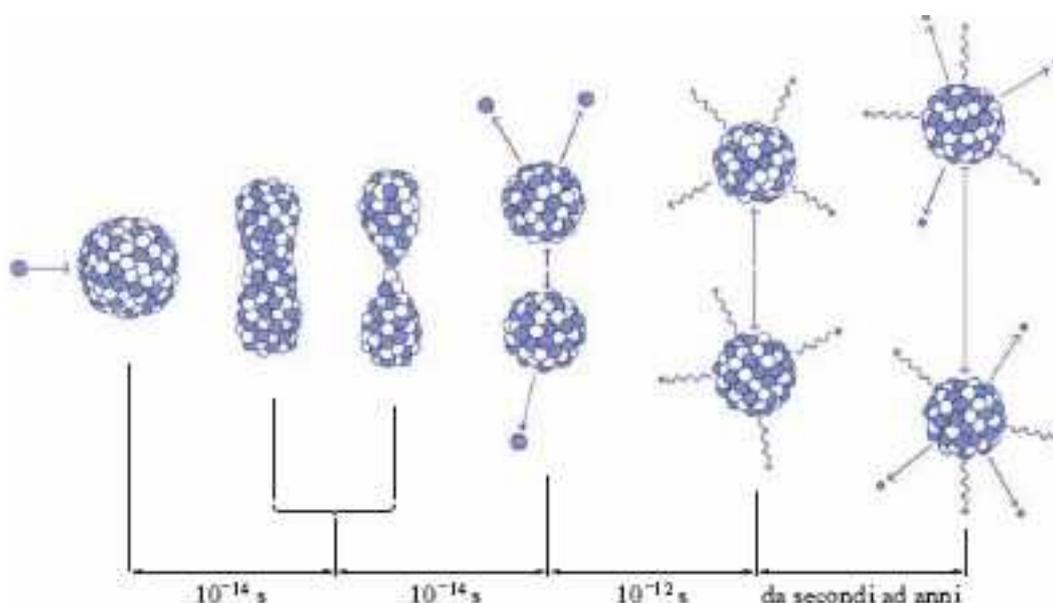
Reazione a catena: i neutroni emessi dalla **fissione** di un nucleo provocano la fissione di altri nuclei. Questa reazione è quella che avviene nelle **centrali nucleari** e nelle **bombe atomiche**.

Nella bomba atomica la **reazione a catena** avviene in modo **incontrollato**, liberando una **grande quantità di energia** in una frazione di secondo (esplosione atomica).

Nella **centrale nucleare** la velocità della **reazione a catena** viene **controllata** utilizzando delle sostanze che **assorbono neutroni**, la potenza termica della centrale viene **regolata** in modo che la temperatura rimanga entro i valori sopportabili dalla struttura della centrale.

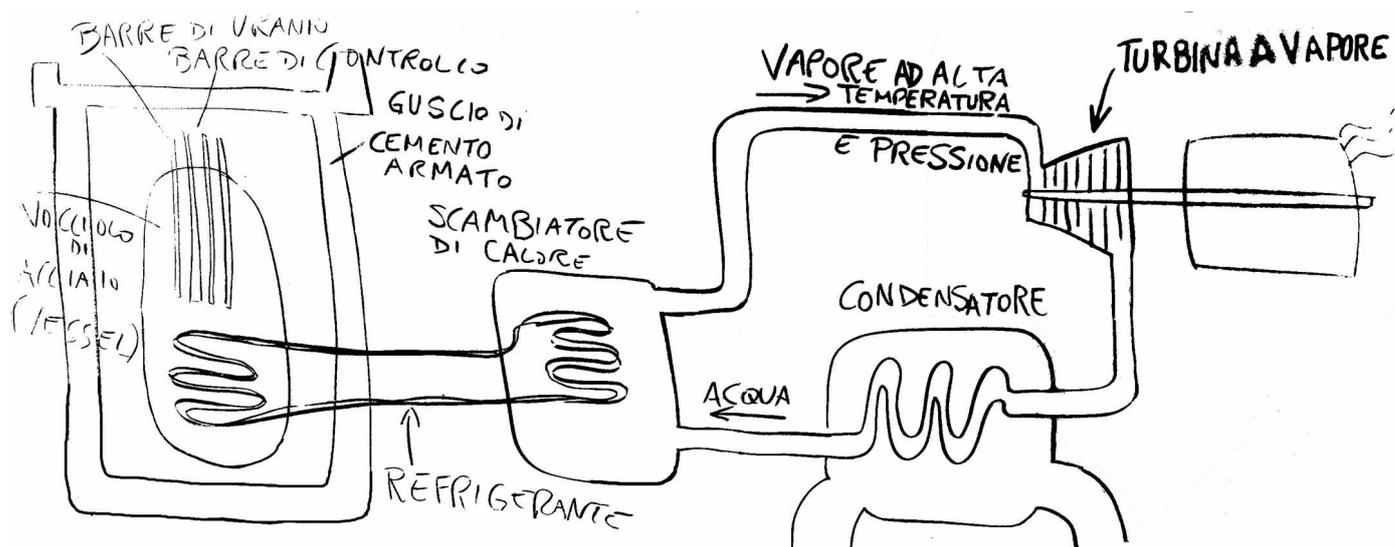


Fissione nucleare: evidenziata anche l'energia liberata (calore).



Fissione nucleare: evidenziati i tempi nei quali avviene e il fatto che gli atomi risultanti sono isotopi instabili radioattivi.

La centrale nucleare



Schema di una centrale nucleare

Nel reattore troviamo un contenitore di acciaio (nocciolo) nel quale sono immersi due tipi di barre:

- le barre di **uranio 235** che alimentano la reazione di **fissione** nucleare;
- le **barre di controllo**, fatte di un materiale che assorbe i neutroni: infilando più o meno in profondità queste barre di controllo si può controllare la velocità della fissione e quindi anche la **potenza termica** prodotta nel nocciolo.

Il **calore** prodotto nel nocciolo **deve venire asportato dal fluido refrigerante** (acqua in pressione); viene poi usato per generare vapore ad alta temperatura e pressione. Il vapore viene utilizzato per ricavare energia elettrica nello stesso modo in cui è usato nelle centrali termoelettriche (espansione in una turbina a vapore che aziona un generatore elettrico).

Man mano che la centrale funziona l'Uranio 235 si trasforma in una **miscela di tanti isotopi instabili** di altri elementi chimici; quando l'uranio di una barra è completamente esaurito questa miscela è detta scoria nucleare.

La miscela di isotopi instabili è fortemente **radioattiva** (e lo rimane per circa 250'000 anni!), tutti gli elementi che la compongono sono soggetti a **decadimento radioattivo**. Questo decadimento **produce** anch'esso **una notevole quantità di calore** ma, a differenza del calore prodotto dalla fissione, la sua produzione **non si può arrestare**; perciò questo calore deve essere asportato in continuazione tramite il circuito di raffreddamento. Questo fatto rende molto difficili da gestire le centrali nucleari in caso di incidenti, che spesso coinvolgono il circuito refrigerante.

Incidenti nucleari

Cernobyl (Ucraina, U.R.S.S., 1986);

Three Mile Island (U.S.A., 1979),

Fukushima (Giappone, 2011)

Questi incidenti in genere sono il risultato della somma di più fattori negativi, tra i quali spesso si trovano:

- errori di progettazione delle centrali;
- difetti di costruzione;
- insufficiente preparazione del personale tecnico della centrale.

Cernobyl (Ucraina, U.R.S.S., 1986)

I tecnici volevano fare una prova di arresto di emergenza della centrale, perciò disabilitarono alcuni sistemi di sicurezza (cosa vietata dal manuale operativo). Portarono poi inconsapevolmente il reattore a funzionare in una condizione anomala, a loro sconosciuta e di cui non erano stati informati dai progettisti, nella quale la potenza termica prodotta dal reattore era molto bassa, pur avendo estratto quasi del tutto le barre di controllo. La potenza del reattore aumentò bruscamente, arrivando di colpo a valori molto alti. Allora inserirono completamente le barre di controllo. Ignoravano che, a causa della forma particolare delle barre, l'inserzione totale delle barre stesse causava, prima della diminuzione desiderata, un temporaneo aumento della velocità di fissione. Perciò, all'inserzione delle barre il nocciolo iniziò a sciogliersi, l'acqua refrigerante a scomporsi in idrogeno ed ossigeno; questi causarono un'esplosione (di natura chimica) che sparò via il solaio di cemento armato (del peso di 1000 t). L'esplosione fu seguita da un incendio, la colonna di fumo caldo sollevò e disperse nell'atmosfera tutti gli isotopi fortemente radioattivi derivati dalla fissione dell'uranio. La radioattività fu rilevata inizialmente dai paesi scandinavi, e giunse fino all'Italia; fu vietato per mesi il consumo di vari prodotti orticoli a causa della contaminazione soprattutto dovuta agli isotopi Iodio131 e Cesio137.

Il reattore esploso è stato coperto con varie strutture di cemento armato (sarcofagi), la prima delle quali costata la vita a coloro che l'hanno costruita colando il cemento con gli elicotteri nelle ore successive all'incidente. All'interno del sarcofago la massa di scorie radioattive viene tenuta calda dal calore prodotto dal decadimento radioattivo delle scorie stesse; questo calore e le radiazioni prima o poi causeranno la perforazione della parte inferiore della struttura di cemento del reattore, e la dispersione delle scorie nel sottosuolo.

Nella città di Pripjat la contaminazione è stata molto più pesante di quella delle città giapponesi bombardate con bombe atomiche nel 1945, e durerà migliaia di anni.

Three Mile Island (U.S.A., 1979)

Nel circuito di raffreddamento, nel quale circola acqua ad alta pressione, c'è una valvola di sicurezza che si apre nel caso la pressione dell'acqua salga oltre i valori previsti.

Il giorno dell'incidente questa valvola intervenne aprendosi; dalla sala controllo i tecnici diedero il comando di richiusura ma la valvola rimase bloccata aperta (difetto di costruzione). Nella strumentazione in sala controllo mancava un indicatore-ripetitore della reale posizione della valvola (errore di progettazione). I tecnici perciò per diverse ore non si resero conto del fatto che la valvola era rimasta bloccata aperta (insufficiente preparazione del personale tecnico).

Il circuito di raffreddamento, a causa della perdita, non fu più in grado di asportare il calore dal nocciolo, che in parte si fuse, con rilascio di materiali radioattivi nell'atmosfera.

Dopo quarant'anni, la centrale è attualmente chiusa in attesa di capire come procedere allo smantellamento.

Anche nell'incidente di Three Mile Island quindi, troviamo un misto di cattiva progettazione (mancava il ripetitore in sala controllo della posizione della valvola di sovrappressione del circuito refrigerante) e di incompetenza del personale (non si resero conto per ore che la suddetta valvola si era bloccata aperta).

Fukushima (Giappone, 2011)

La centrale è situata sulla costa, poiché utilizza l'acqua di mare per raffreddare il vapore nel condensatore. Nel 2011 la centrale fu investita da uno tsunami causato da un maremoto. L'onda scavalcò le barriere previste dai progettisti e bloccò i motori elettrici delle pompe del circuito primario di raffreddamento. La reazione di fissione venne arrestata dal dispositivo di arresto di emergenza, ma nulla poteva arrestare la produzione di calore dovuta al decadimento radioattivo dei prodotti della fissione dell'uranio. Senza le pompe, il circuito di raffreddamento non poteva asportare questo calore dal nocciolo; uno dopo l'altro i quattro reattori si fusero; a causa della temperatura sempre maggiore l'acqua si dissociò in idrogeno e ossigeno che poi esplosero. Per cercare di raffreddare i reattori i tecnici pomparono acqua marina che poi fu riscaldata in mare, causando la contaminazione radioattiva dell'ambiente, rilevata fino a migliaia di chilometri, in California.

Anche in questa circostanza, troviamo fattori imponderabili di cui la progettazione non è riuscita a tener conto (altezza dello tsunami superiore a quanto ipotizzato).

Problema: in una centrale nella quale si sia verificato un incidente, e la fissione sia stata arrestata dall'intervento del sistema di arresto di emergenza, **come arrestare il calore prodotto dal decadimento radioattivo?** Tale calore produce idrogeno per dissociazione dell'acqua refrigerante, idrogeno che causa esplosioni.

Scorie nucleari

Nel calcolo del costo dell'energia elettrica prodotta da centrale nucleare andrebbero inclusi anche i **costi differiti dello smantellamento delle centrali** (decommissioning) e del **trattamento delle scorie** contenute nelle barre esaurite.

L'energia nucleare è stata bandita in Italia da un referendum popolare nel 1987, il processo di smantellamento delle centrali però è ancora in corso, ed i relativi costi gravano e graveranno in futuro sul bilancio dello Stato.

Le scorie italiane

(90 mila metri cubi di rifiuti nucleari attualmente stoccati in 8 siti nazionali, più 119 metri cubi, tra i più pericolosi, inviati all'estero)

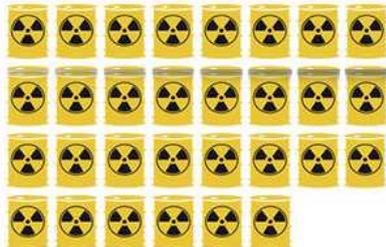
SMALTIMENTO DEFINITIVO

Rifiuti non più radioattivi dopo 300 anni

45 mila metri cubi da decommissioning nucleare



30 mila metri cubi medicali e industriali

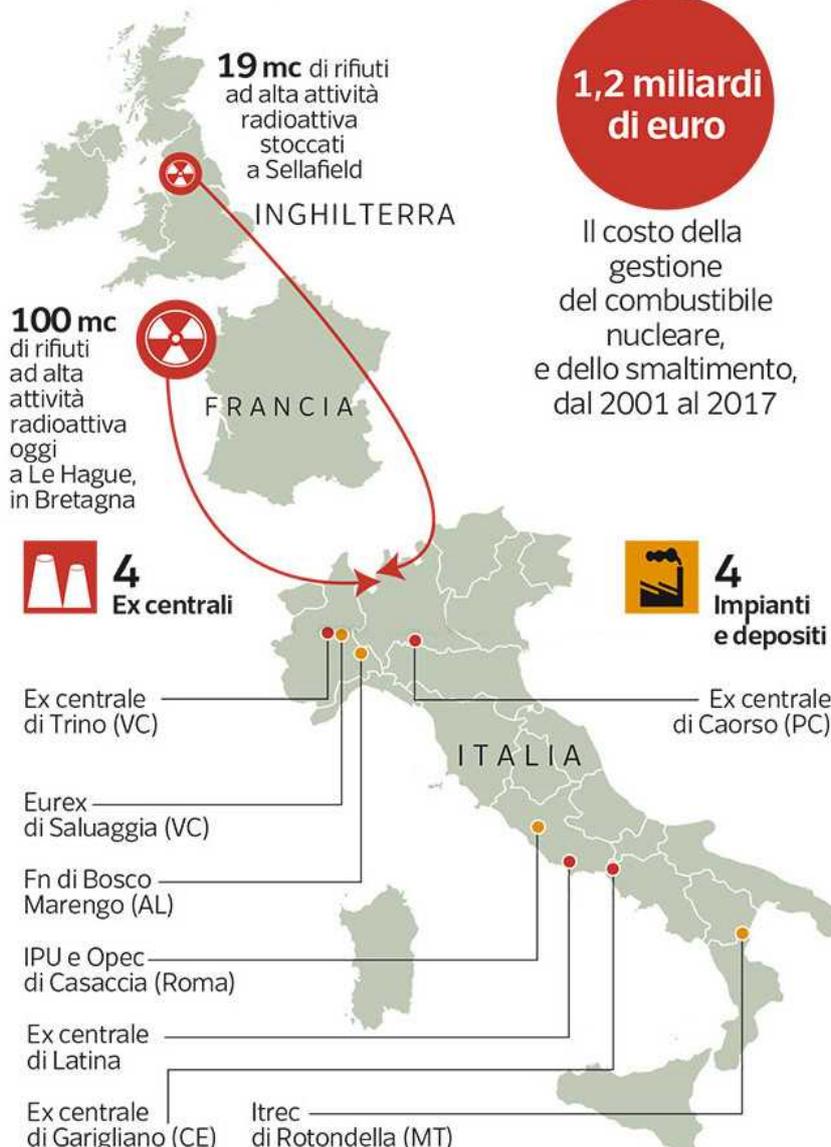


STOCCAGGIO TEMPORANEO IN ATTESA DI TRASFERIMENTO A DEPOSITO GEOLOGICO (rifiuti radioattivi per 10 mila anni)

15 mila metri cubi prevalentemente da impianti e centrali nucleari



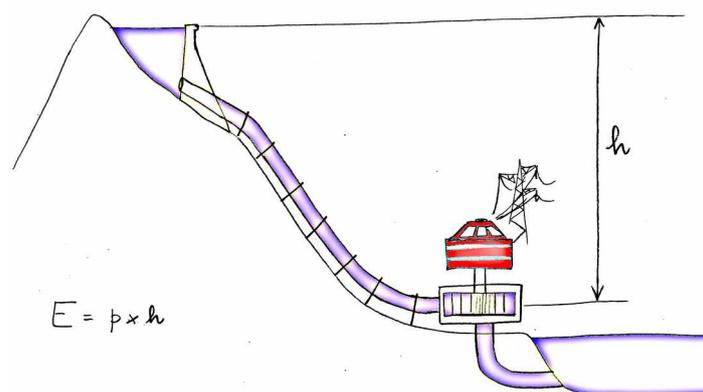
TORNERANNO IN ITALIA



11 maggio 2018 (modifica il 11 maggio 2018 | 23:23)
© RIPRODUZIONE RISERVATA

L'Ego

Energia idroelettrica



La centrale idroelettrica utilizza l'energia potenziale gravitazionale dell'acqua contenuta in un lago posto ad una quota elevata (bacino di monte).

L'acqua viene convogliata in una condotta forzata e viene così fatta scendere fino ad una turbina idraulica. All'ingresso della turbina l'energia potenziale gravitazionale si è trasformata in energia meccanica di pressione e velocità. L'acqua mette in rotazione la turbina, che trasforma l'energia di pressione e velocità dell'acqua in energia meccanica di rotazione della turbina stessa. Questa è collegata tramite un albero di trasmissione al generatore elettrico, e perciò gli trasferisce l'energia meccanica. A sua volta il generatore converte l'energia meccanica in energia elettrica, infine l'energia elettrica viene trasferita alla rete elettrica nazionale.

L'acqua invece, dopo aver ceduto la propria energia alla turbina, esce dalla parte inferiore della turbina stessa e viene convogliata da un breve condotto di scarico ad un fiume o ad un lago (bacino di valle).

La quantità di energia potenziale gravitazionale posseduta dall'acqua del bacino di monte è espressa dalla semplice formula **$E = p \times h$** dove:

- **h** è il dislivello tra il bacino di monte e la turbina;
- **p** è il peso dell'acqua contenuta nel bacino.

L'acqua è stata portata in alto dal mare fino al bacino di monte grazie all'evaporazione dovuta all'irraggiamento solare; perciò l'energia idroelettrica deriva dall'energia che il sole invia sulla terra sotto forma di luce.

Vantaggi delle centrali idroelettriche:

- rispetto alle centrali termoelettriche, hanno il grandissimo vantaggio di non immettere anidride carbonica (CO_2) nell'atmosfera (la CO_2 provoca l'effetto serra che è la causa del riscaldamento globale e dei mutamenti climatici che stanno interessando la terra);
- sono estremamente **veloci ad avviarsi**: perciò sono utilizzate per coprire i picchi di richiesta di potenza elettrica sulla rete elettrica nazionale durante la giornata;

svantaggi:

- rispetto alle centrali termoelettriche hanno **potenze piccole** (almeno in Italia);
- **mutato regime dei fiumi**: scompare il carattere torrentizio (laminazione delle piene) => => mancata produzione di sabbia;
- ostacolo al ciclo vitale di parte della **fauna fluviale**: i pesci non riescono a passare la diga;
- allagamenti a valle in caso di scarico di emergenza;
- **instabilità geologica**: vedi storie del disastro del **Vajont**, 1963, e del disastro del Gleno, 1923 http://www.molare.net/disastri_simili/disastri_gleno.html)

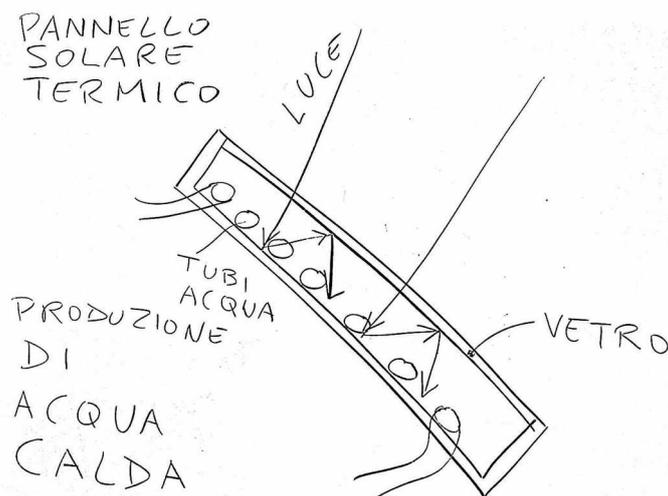
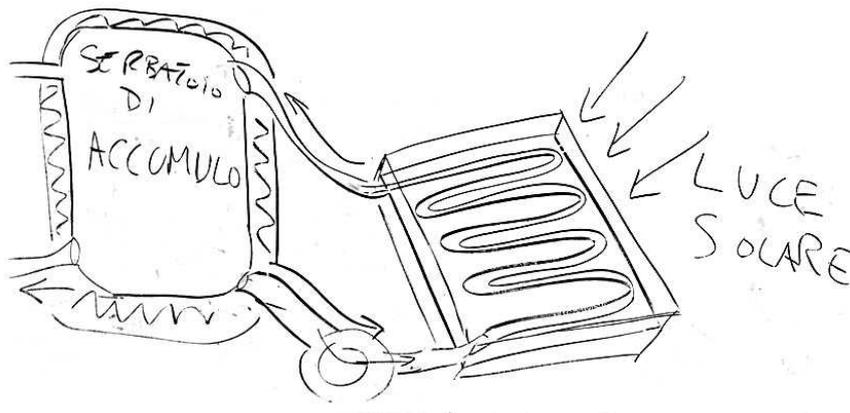
Energia solare

Energia solare

- Centrali solari per produzione di energia elettrica
- impianti domestici
 - pannelli solari termici acqua calda
 - pannelli fotovoltaici em. elettrica

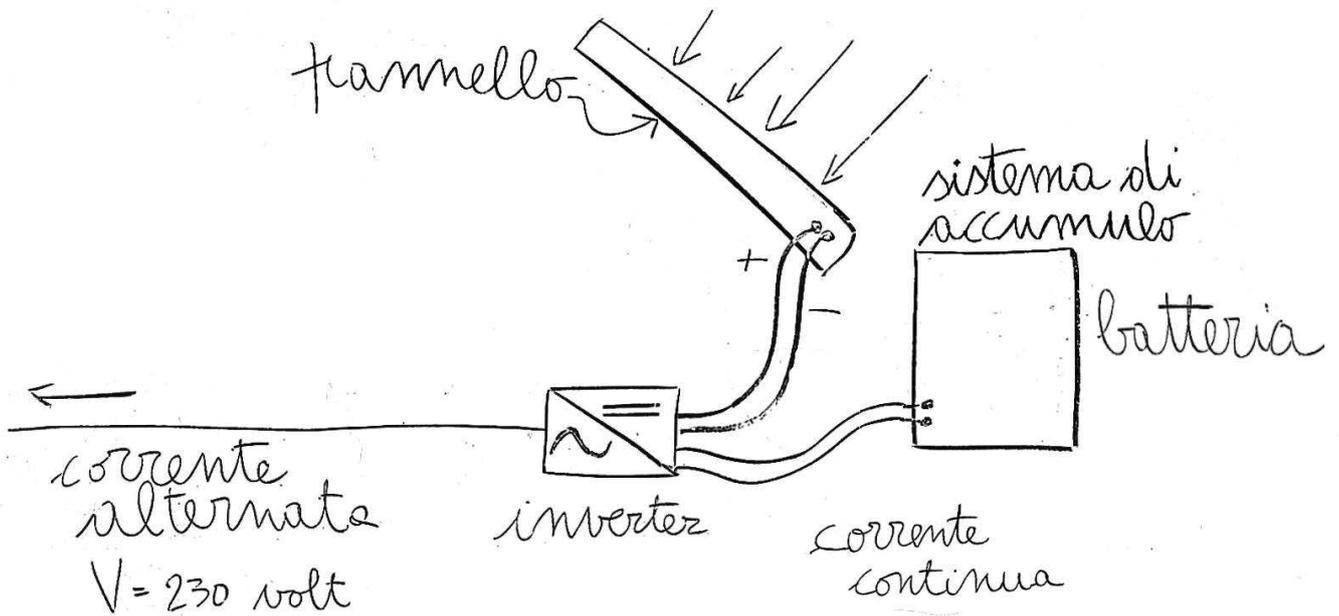
Pannelli solari termici

PANNELLI SOLARI TERMICI (ACQUA CALDA)

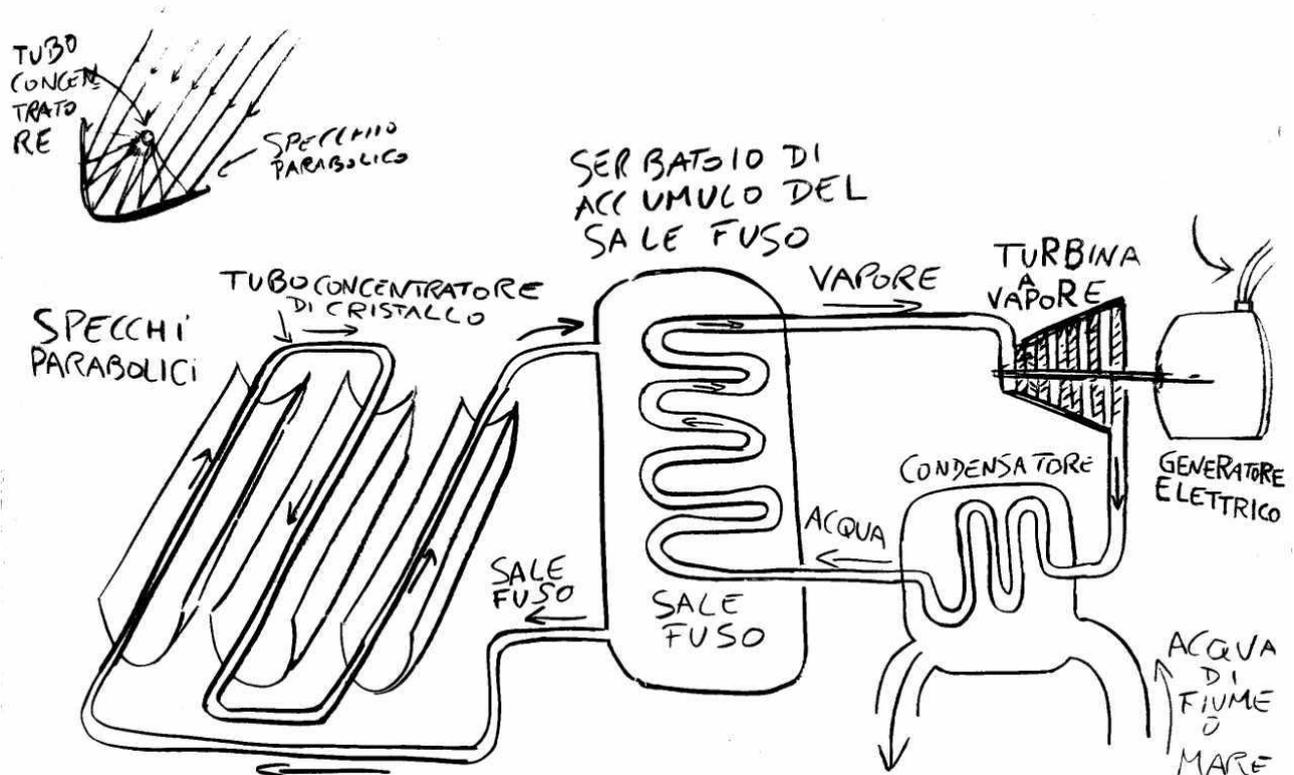


Pannelli solari fotovoltaici

Pannelli solari fotovoltaici



Centrale solare termodinamica a sali fusi



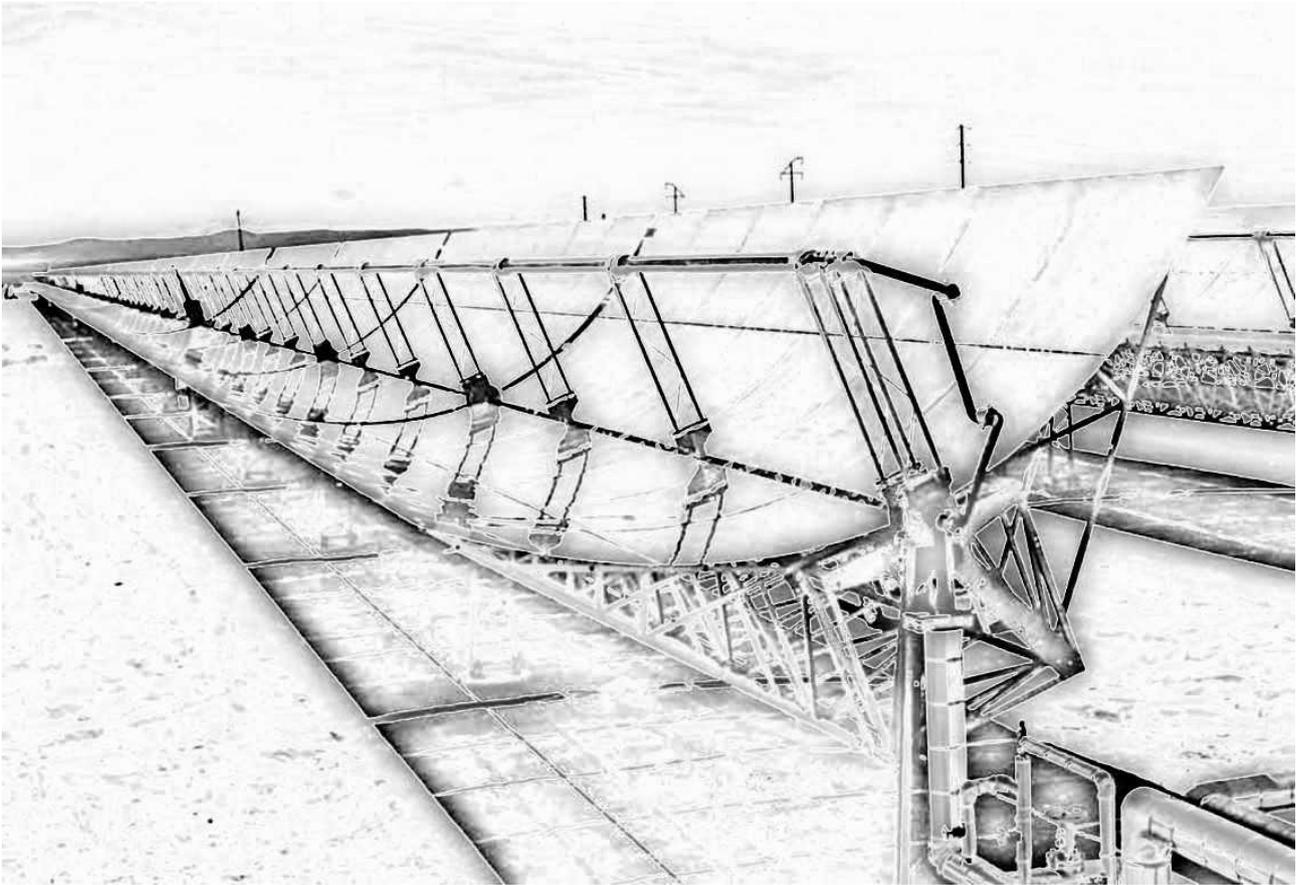
Questa centrale utilizza l'**energia solare**.

Si tratta di una tecnologia nuova, messa a punto in Italia dal fisico e premio Nobel Carlo Rubbia, potrebbe essere in futuro la soluzione al **problema dell'effetto serra** dovuto all'immissione di anidride carbonica nell'atmosfera a causa dell'utilizzo di combustibili fossili (carbone, petrolio, metano).

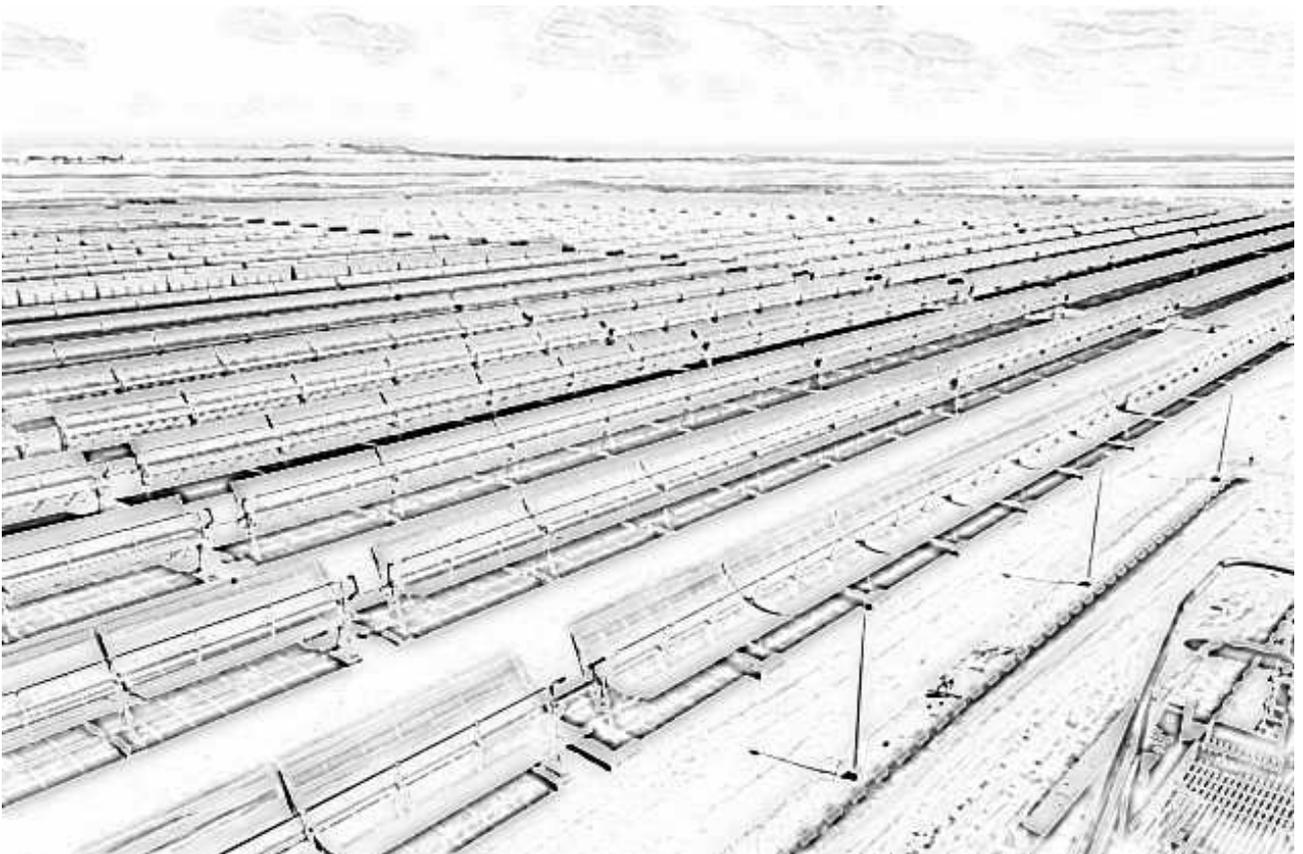
Rispetto agli altri tipi di centrali e dispositivi che utilizzano la luce solare (pannelli fotovoltaici) questo tipo di centrale ha il grande vantaggio di **produrre energia elettrica anche nelle ore notturne**.

Questa centrale ha lo **svantaggio** di richiedere **grandi superfici di terreno** in piano coperte di specchi; alcuni criticano questo aspetto perché potrebbe sottrarre **superficie agricola** al totale, che in Italia è già inferiore al necessario. Bisogna considerare però che **continuare a bruciare combustibili fossili aggraverà il cambiamento climatico già in corso**, facendo calare la superficie agricola a causa della siccità ben più dell'1% circa che basterebbe per soddisfare il fabbisogno energetico interamente con le centrali solari termodinamiche.

Funzionamento: gli specchi parabolici concentrano nel tubo captatore posto nel punto focale degli specchi stessi l'energia luminosa della radiazione solare; il tubo viene quindi scaldato (l'energia luminosa si trasforma in energia termica). Nel tubo circola del sale fuso che sottrae l'energia termica e la trasferisce ad un serbatoio coibentato; qui **l'accumulo di sale fuso consente di immagazzinare il calore** e di compensare la mancanza di apporto di energia solare nelle ore notturne. Nel serbatoio di accumulo in una serpentina circola dell'acqua che viene scaldata dal calore del sale e trasformata in vapore surriscaldato ad alta pressione. Il vapore viene inviato ad una turbina a vapore; il resto della centrale è identico alle centrali termoelettriche già analizzate.



Centrale solare termodinamica a sali fusi: specchio parabolico con tubo collettore



Centrale solare termodinamica a sali fusi: campo di specchi